



Міністерство освіти та науки України
Національна академія наук України

Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»



Фізико-технологічний інститут
металів та сплавів НАН України

Національна металургійна академія України



Асоціація ливарників України

Одеський національний політехнічний університет



Білоруський національний технічний університет

Магдебурзький університет ім. Отто-фон-Геріке



AGN University of Science and Technology A. Mickiewicza

Запорізька торгово-промислова палата



МАТЕРІАЛИ

XIV МІЖНАРОДНОЇ
НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ
ЛИТВО 2018

VII МІЖНАРОДНОЇ
НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ
МЕТАЛУРГІЯ 2018

22 – 24 травня 2018 РОКУ



УКРАЇНА, ЗАПОРІЖЖЯ

2018

УДК 621.74+669(063)

ББК 30.61+34.3л0

Л64

Литво. Металургія. 2018: Матеріали XIV Міжнародної науково-практичної конференції (22-24 травня 2018 р., м. Запоріжжя) / Під заг. ред. д.т.н., проф. Пономаренко О.І. – Запоріжжя, АА Тандем. – 328 стор.

У збірнику представлено матеріали, що стосуються актуальних проблем ливарного і металургійного виробництва: отримання, обробки та структуроутворення сплавів; прогресивні технології та обладнання в ливарному виробництві; перспективні формувальні матеріали і суміші, технологічні процеси виготовлення форм і стрижнів; моделювання, комп'ютерні та інформаційні технології в ливарному виробництві; спеціальні способи литва та литва композиційних матеріалів; методи контролю ливарних і металургійних процесів, економіка та екологія ливарного виробництва.

Матеріали призначені для інженерно-технічних працівників металургійних і машинобудівних підприємств і науково-дослідницьких інститутів, аспірантів і студентів вищих навчальних закладів.

Друкується за рішенням Вченої ради Національного технічного університету «Харківського політехнічного інституту», протокол № 4 від 04.05.2018

Відповідальність за достовірність інформації, що викладена в матеріалах конференції, несуть їх автори.

УДК 621.74+669(063)

ББК 30.61+34.3л0

Л64

ISBN 978-966-488-169-9

© Запорізька торгово-промислова палата»
© АА Тандем, 2018

ПРОГРАМНИЙ КОМІТЕТ

Агравал П. Г. – к.х.н., доц., зав. каф. Донбаської державної машинобудівної академії (ДДМА), Краматорськ;

Акімов О. В. – д.т.н., проф., зав. каф. Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» (НТУ «ХПІ»), Харків;

Афтанділянц Є. Г. – д.т.н., проф., зав. каф. Національного університету біо-ресурсів і природокористування України (НУБіП), Київ;

Бойченко Б. М. – д.т.н., проф., зав. каф. Національної металургійної академії України (НМетАУ), Дніпро;

Бубликов В. Б. – д.т.н., ст.н. спів., зав. відділом Фізико-технологічного інституту металів і сплавів Національної академії наук України (ФТІМС НАН України), Київ;

Бурбелко А. – AGH University of Science and Technology A. Mickiewicza, проф., Краків, Польща;

Верховлюк А. М. – д.т.н., заступник директора ФТІМС НАН України, Київ;

Гнилоскуренко С. В. – к.т.н., зав. відділом ФТІМС НАН України, вчений секретар Асоціації ливарників України (АЛУ), Київ;

Губін Г. В. – д.т.н., проф., зав. каф. Криворізького національного університету, Кривий Ріг;

Предраг Д. – SaTCIP (Scientifical and Technical Center for Intellectual Property) Ltd., Vrnjcka Banja; Serbia;

Дібров І. А. – д.т.н., проф., президент Російської Асоціації ливарників, заступник генерального директора ОАО НІІЛітМаш, Росія;

Дубодєлов В. І. – д.т.н., проф., акад. НАН України, зав. відділом ФТІМС НАН України, Київ;

Дурягіна З. А. – д.т.н., проф., зав. каф. Національного університету "Львівська політехніка", Львів;

Затуловський А. С. – д.т.н., ст.н. співр., зав. відділом ФТІМС НАНУ, Київ;

Спіфанов В. В. – проф., директор Навчально-наукового інституту Механічної інженерії і транспорту НТУ «ХПІ», Харків;

Клименко С. І. – к.т.н., директор Департаменту ливарного виробництва Міністерства економічного розвитку та торгівлі України, Київ;

Кропівний В. М. – к.т.н., проф., зав. каф. Центральнотехнічного національного технічного університету, Кропивницький;

Луньов В. В. – д.т.н., проф., директор інституту, зав. каф. Запорізького державного технічного університету (ЗНТУ), Запоріжжя;

Лисенко Т. В. – д.т.н., проф., зав. каф. Одеського національного політехнічного університету (ОНПУ), Одеса;

Марченко А. П. – д.т.н., проф., проректор з наукової роботи НТУ «ХПІ», Харків;

Мілко Міланов – голова союзу ливарників Болгарії, директор фірми «Інститут литва та ливарні технології», Софія, Болгарія;

Михаленков К.В. – д.т.н., проф., зав. каф. Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського» (НТУУ «КПІ»), Київ;

Нарівський А. В. – д.т.н., член-кореспондент НАН України, директор ФТІМС НАН України, Київ;

Немененок Б. М. – д.т.н., проф., зав. каф. Білоруського національного технічного університету (БНТУ), Білорусь;

Ноговіцин О.В. – д.т.н., заступник директора ФТІМС НАН України, Київ;

Оборський Г. О. – д.т.н., проф., ректор ОНПУ, Одеса;

Пономаренко О. І. – д.т.н., проф. НТУ «ХПІ», віце-президент АЛУ, Харків;

Пройдак Ю. С. – д.т.н., проф., проректор з наукової роботи НМетАУ, Дніпро;

Рюдигер Б. – д.т.н., проф., зав. каф. Магдебурзького університету ім. Отто-фон-Гюріке, Магдебург, Німеччина;

Сігарьов Є. М. – д.т.н., проф., зав. каф. Дніпровського державного технічного університету (ДДТУ), Кам'янське;

Сокол Є.І. – д.т.н., проф., ректор НТУ "ХПІ", Харків;

Тарасюк Л. І. – к.т.н., доц., зав. каф. Приазовського державного технічного університету (ПДТУ), Маріуполь;

Турчанін М. А. – д.х.н., проф., проректор з наукової роботи, управління розвитком та міжнародних зв'язків ДДМА, Краматорськ;

Фесенко А. М. – к.т.н., проф., перший проректор ДДМА, Краматорськ;

Хричіков В. Є. – д.т.н., проф., зав. каф. НМетАУ, Дніпро;

Шинський О. Й. – д.т.н., проф., зав. відділом ФТІМС НАН України, президент АЛУ, Київ;

Эффенберг Г. – MSI (Material Science International), доктор, м. Штудгарт, Німеччина;

Ямшинський М. М. – к.т.н., доц., зав. каф. НТУУ «КПІ», Київ.

ЗМІСТ

Є. Г. Афтанділянц. ЗАКОНОМІРНОСТІ ВИДІЛЕННЯ ВТОРИННИХ ФАЗ В АУСТЕНІТНИХ НЕІРЖАВІЮЧИХ СТАЛЯХ	16
Є. Г. Афтанділянц. ВЛИЯНИЕ СВОЙСТВ ЖИДКОГО МЕТАЛЛА НА ДЕНДРИТНУЮ СТРУКТУРУ СТАЛЬНЫХ ОТЛИВОК	17
Є. Г. Афтанділянц, К. Г. Лопатько. ВПЛИВ РОЗМІРУ ЗЕРЕН НА МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ НАНОМАТЕРІАЛІВ	19
В. А. Андерсон. ЛИТЬЕ ПО ГАЗИФИЦИРУЕМЫМ МОДЕЛЯМ - СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ	21
Ahmed Sundus Mohammed Noori Ahmed, O. V. Akimov, K. O. Kostyk. PECULIARITIES OF PRODUCTION OF THE ALLOY WITH SHAPE MEMORY EFFECT	24
К.А. Батышев, М.Г. Георгиевский, К.Г. Семенов, Ю.А. Свинороев, Г.Л. Зеркалов. МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ОТЛИВОК ИЗ МЕДИСТЫХ СИЛУМИНОВ С ДОБАВКАМИ СВИНЦА ПОЛУЧЕННЫХ СПОСОБОМ ЛКД	25
В. И. Белик, А. Г. Пригунова, В. М. Дука, А. И. Семенченко РАСШИРЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ГРАНИЦ ПОЛУЧЕНИЯ ЗАГОТОВОК ДЛЯ РЕОЛИТЬЯ В УСЛОВИЯХ ПРЯМОГО ТЕРМИЧЕСКОГО МЕТОДА	27
Т.В. Берлізева, О.І. Пономаренко, А.В. Зубішина. .ВИКОРИСТАННЯ ВІДХОДІВ ПІНОПОЛІСТІРОЛУ У ЛИВАРНОМУ ВИРОБНИЦТВІ ЯК ЗВ'ЯЗУЮЧОЇ ДОБАВКИ	29
Т.В. Берлізева, О.І. Пономаренко, М.В. Швець, ВИКОРИСТАННЯ ВІДХОДІВ ВСПІНЕНОГО ПІНОПОЛІСТІРОЛУ У ЖИВІЧНОГО СКІПІДАРИ ЯК ЗНЕМІЦНЮЮЧОЇ ДОБАВКИ ДЛЯ ФОРМУВАЛЬНИХ СУМІШЕЙ НА РІДКОМУ СКЛІ	31

Д. Н. Берчук, В. Б. Бубликов. КОВШОВОЕ И ВНУТРИФОРМЕННОЕ МОДИФИЦИРОВАНИЕ МАГНИЙ-КАЛЬЦИЕВОЙ ЛИГАТУРОЙ	32
Д. Н. Берчук, Л. А. Зеленая, В. А. Овсянников. КОМПЛЕКСНОЕ МОДИФИЦИРОВАНИЕ ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА	34
Г.С.Бойко, К.О. Костик. ЛАЗЕРНЕ ПОВЕРХНЕВЕ ЛЕГУВАННЯ СТАЛЕВИХ ВИРОБІВ	36
В. Б. Бубликов, Ю. Д. Бачинский, С. Н. Медведь. ВЛИЯНИЕ КОМПЛЕКСНОГО МОДИФИКАТОРА ЖКМК-2Р НА ПОВЫШЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА	38
В. Б. Бубликов, Ю. Д. Бачинский, С. Н. Медведь. АУСФЕРРИТНЫЙ ВЫСОКОПРОЧНЫЙ ЧУГУН	39
В. Б. Бубликов, О. П. Нестерук, Н. П. Моїсєєва. ВПЛИВ ТИПОВИХ МОДИФІКУЮЧИХ СПЛАВІВ НА СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ І МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ВИСОКОМІЦНОГО ЧАВУНУ	41
В. Б. Бубликов, О. П. Нестерук, Н. П. Моїсєєва. ВПЛИВ ШИХТОВИХ МАТЕРІАЛІВ НА ФОРМУВАННЯ ФАЗОВО-СТРУКТУРНОГО СТАНУ ТОНКОСТІННИХ ВИЛИВКІВ З ВИСОКОМІЦНОГО ЧАВУНУ	42
В. Б. Бубликов, А. А. Ясинский, Л. А. Зеленая, Е. А. Ясинская. УГЛЕРОД, КРЕМНИЙ И МАРГАНЕЦ В ВЫСОКОПРОЧНОМ ЧУГУНЕ	44
В. Б. Бубликов, Ясинский А. А., Ясинская Е. А. ВЛИЯНИЕ ЛЕГИРОВАНИЯ И ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРУ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА	46
В. І. Вейс, В. М. Щеглов. ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ВЕЛИКИХ КОВАЛЬСЬКИХ ЗЛИВКІВ	47
А.М. Верховлюк, О.А. Щерецький, Р.А. Сергієнко, Д.С. Каніболоцький, М.В. Афанасьєв. ОСОБЛИВОСТІ ВЗАЄМОДІЇ НАНОПОРОШКІВ З МЕТАЛІЧНИМИ РОЗПЛАВАМИ	49
О. И. Воронова, Т. В. Лысенко, И. В. Прокопович, В. В. Ясюков. ПРОБЛЕМЫ СТОЙКОСТИ ОСНАСТКИ ЛПД	51

А.А. Глотка, А.В. Овчинников. ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ЖАРОПРОЧНЫХ ПОРОШКОВ В АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ	53
С.В. Гнилокурченко, Е.П. Белоусова. ДИНАМИКА НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ЛИТЕЙНОЙ ОТРАСЛИ	55
С. В. Гнилокурченко, О. В. Михнян. ПАТЕНТНІ ДОСЛІДЖЕННЯ У ФТІМС НАН УКРАЇНИ	58
И.А. Гримзин, Д.В. Мариненко, О.И. Пономаренко. ОПТИМИЗАЦИЯ ФОРМОВОЧНЫХ СМЕСЕЙ НА ОСНОВЕ ГИПСА	60
Д.В. Гриценко, О. И. Пономаренко, Д. В. Мариненко. ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ ОСНАСТКИ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТОНКОСТЕННЫХ ОТЛИВОК	62
Л. А. Дан, Л. А. Трофимова. ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ОТХОДОВ ГРАНУЛИРОВАННОГО ПОЛИСТИРОЛА НА ПРОЧНОСТЬ И ОСТАТОЧНУЮ ПРОЧНОСТЬ ПЕСЧАНО-ГЛИНИСТЫХ СМЕСЕЙ	63
В. С. Дорошенко. ПРООБРАЗЫ ПРИРОДОПОДОБНЫХ ПРОЦЕССОВ ЛИТЬЯ.	65
В. С. Дорошенко. ПРЕДПОСЫЛКИ СОЧЕТАНИЯ ЛИТЬЯ ВЧ ПО ЛГМ-ПРОЦЕССУ С ТЕРМООБРАБОТКОЙ ОТЛИВОК	67
В. С. Дорошенко, В. П. Кравченко, В. О. Шинський. РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ ІНТЕРВАЛЬНОЇ НЕПЕРЕРВНО-ДИСКРЕТНОЇ МОДЕЛІ ЛИВАРНИХ РОТОРНО-КОНВЕЄРНИХ КОМПЛЕКСІВ	68
В. С. Дорошенко, В. О. Шинский. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ФОРМОВОЧНОЙ ОСНАСТКИ ДЛЯ ЛИТЬЯ ИЗ ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА, А ТАКЖЕ ДЛЯ РЕГУЛИРУЕМОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ОТЛИВОК НА КОНВЕЙЕРАХ	71
Н.В. Доценко, В.Ю. Селиверстов, Ю.В. Доценко. ВЛИЯНИЕ КОМПЛЕКСНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПОВЫШЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ОТЛИВОК ИЗ СПЛАВА АК5М С ВЫСОКИМ СОДЕРЖАНИЕМ ЖЕЛЕЗА	73
Е. А. Дрозд, М. М. Ворон. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ ПЛАВКИ И ЛИТЬЯ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ	75
В.И. Дубоделов, В.Н. Фикссен, В.К. Погорский, В.А. Середенко, М.С. Горюк, Ю.П. Скоробагатько, К.С. Богдан, А.О. Горшков. ЛИТЕЙНОЕ И	

МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЕ МГД-ОБОРУДОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ: РАЗРАБОТКИ ПОСЛЕДНИХ ЛЕТ И ПЕРСПЕКТИВЫ	77
В.И. Дубоделов, В.Н. Фикссен, А.Н. Смирнов, М.С. Горюк, А.О. Горшков, А.В. Яценко, А.Ю. Семенко. СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ МГД-УСТРОЙСТВА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ РАСПЛАВОВ ПРИ ИХ ОБРАБОТКЕ И РАЗЛИВКЕ	78
Н.С. Євтушенко, С.Д. Євтушенко. ЗАСТОСУВАННЯ В ЛИВАРНОМУ ВИРОБНИЦТВІ СМОЛЯНИХ ЗВ'ЯЗУЮЧИХ	79
А.П. Еременко, А.И. Кобзева, А.А. Сиваева. ВЛИЯНИЕ ДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСОГО ТОКА НА КРИСТАЛЛИЗАЦИЮ МЕТАЛЛА ОТЛИВКИ	81
О.М. Жбанова, Л.Н. Саїтгареев. ВИБІР ОПТИМАЛЬНОГО РЕЖИМУ МОДИФІКУВАННЯ ЕЛЕКТРОІМПУЛЬСНИМ СТРУМОМ СТАЛЬ 35ГЛ	83
Н. А. Жижкина. ПОВЫШЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ЛИСТОПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ	86
Л. Ф. Жуков, М. И. Смирнов, Д. А. Петренко, А. Л. Корниенко. НЕПРЕРЫВНЫЙ КОНТРОЛЬ ТЕМПЕРАТУРЫ РАСПЛАВОВ НЕПОСРЕДСТВЕННО В МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПЕЧАХ И АГРЕГАТАХ	87
Л. Ф. Жуков, Д. А. Петренко, А. Л. Корниенко. НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ СПЕКТРАЛЬНОЙ ТЕРМОМЕТРИИ СПЛАВОВ И ИХ МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ	89
Н. И. Замятин, С. А. Замятин, Р. В. Ермоленко. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ НАЧАЛА ДЕФОРМАЦИИ СТЕРЖНЕЙ, ИЗГОТОВЛЕННЫХ ЗАМОРАЖИВАНИЕМ	91
А. С. Затуловский, Ж. Д. Богатырёва, А. Г. Малявин, А. А. Кузьменко, В. А. Щерецкий. ПРИМЕНЕНИЕ ФТОРФЛОГОПИТОВОГО ЛИТОГО МАТЕРИАЛА В УСЛОВИЯХ АГРЕССИВНОЙ СРЕДЫ ЖИДКИХ ХЛОРИДОВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ И ОЧИСТКИ ЧЕТЫРЕХХЛОРИСТОГО ТИТАНА	93
А. С. Затуловский, В. А. Щерецкий, В. А. Лакеев. УПРОЧНЕНИЕ ПОВЕРХНОСТИ СТАЛЬНЫХ ТРИБОДЕТАЛЕЙ МАКРОВСТАВКАМИ	95
А. С. Затуловский, В. А. Щерецкий, М. М. Ивашина. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЛИТЫХ АЛЮМОМАТРИЧНЫХ КОМПОЗИТОВ	97

Л.С. Золотар, О.В. Акімов, Ю.В. Орендарчук, Г. Г. Ідріс. ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЗМУ УТВОРЕННЯ ГАЗОУСАДКОВИХ ДЕФЕКТІВ В ЛИТИХ ПОРШНЯХ ДВЗ З ВИКОРИСТАННЯМ КОМП'ЮТЕРНО – ІНТЕГРОВАНИХ СИСТЕМ МОДЕЛЮВАННЯ	99
В. Г. Іванов. ВПЛИВ ГАЗОНАСИЧЕНОСТІ НА СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ ЧАВУНІВ	100
Л. Х. Іванова, Я.В. Лутченко. РОЗРОБКА СПОСОБУ ЛИТТЯ ПРОКАТНІХ ВАЛКІВ ІЗ ЧВГ	102
Idan Alaa Fadhil Idan, O. V. Akimov, K. O. Kostyk. SURFACE HARDENING OF STEEL PARTS	104
В. В. Каверинский, З. П. Сухенко. О КОМПЬЮТЕРНОМ ИССЛЕДОВАНИИ ВЛИЯНИЯ РАЗМЕРОВ, ФОРМЫ И ПОРИСТОСТИ МАГНИЙСОДЕРЖАЩИХ БРИКЕТОВ НА ВРЕМЯ ИХ ЛАВЛЕНИЯ ПРИ МОДИФИЦИРОВАНИИ ЧУГУНА	105
П. Б. Калюжный, С. О. Кротюк. ОПТИМИЗАЦИЯ ЛИТНИКОВОЙ СИСТЕМЫ ОТЛИВКИ «КОРПУС ВЕНТИЛЯ» С ПОМОЩЬЮ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ	107
В. П. Каргинов, В. Г. Иванов. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ДОБАВКИ ООО «НПП «СОЮЗ» ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КОНКУРЕНТНОСТИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ И ЛИТЕЙНОЙ ПРОДУКЦИИ	109
С. И. Клименко, О. А. Яковышин, Ю. А. Липецкая, В. А. Маляр. ГРАФИТИЗИРУЮЩИЕ БРИКЕТЫ ИЗ ОТХОДОВ ЛИТЕЙНОГО И МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВ	111
О.Г. Ковальчук, М.М. Ямшинський, Г.Є. Федоров. ВИЛИВКИ З ДИФЕРЕНЦІЙОВАНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ ПОВЕРХНІ	113
С. Є. Кондратюк, Ж. В. Пархомчук, В. І. Вейс. ПІДВИЩЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ СТАЛЕВИХ ВИЛИВКІВ ЗАСОБАМИ СПАДКОВОГО МОДИФІКУВАННЯ	115
С. В. Конончук, В. В. Пукалов. ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ГОРІННЯ КОКСУ В ВАГРАНЦІ	117
С. В. Конончук, В. В. Пукалов. УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ЛИТТЯ В КОКІЛЬ АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ	119

С. В. Конончук, В. В. Пукалов. ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ 3D-ДРУКУ В ЛИВАРНОМУ ВИРОБНИЦТВІ	120
В.А. Кривошеев, В.Т. Калинин, Е.В. Меняйло, В.Е. Хрычиков, Ю.В. Доценко, В.А. Тысячник. ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ СТОЙКОСТИ ЛИТЫХ ДЕТАЛЕЙ ДВИГАТЕЛЕЙ И ПРОМЫШЛЕННЫХ АГРЕГАТОВ	123
Н. А. Кудрявченко, В. П. Лихошва, В. В. Ширяев БЛОК ИНИЦИАЛИЗАЦИИ РЕАКЦИЙ СВС	124
О. А. Кузьменко, А. Г. Малявін, А. С. Затуловський, В. О. Щерецький. ДОСЛІДЖЕННЯ РІДИННОПЛИННОСТІ РОЗПЛАВІВ НА ОСНОВІ КАЛІЄВОГО ФТОРФЛОГОПІТУ	125
П. М. Кучеренко, С. Я. Шипицин, М. В. Маркашова. ДИСЛОКАЦІЙНА СТРУКТУРА FE-CR-MN-N СТАЛІ ПРИ ДЕФОРМАЦІЇ ТИСКОМ І КАВІТАЦІЙНОМУ ЗНОШУВАННІ	127
С. В. Ладохин, Т. В. Лапшук. ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ЛИТЬЯ ИЗ ЦИРКОНИЕВЫХ СПЛАВОВ В УКРАИНЕ	128
Д. И. Лиховей, Д. Н. Короленко, С. Я. Шипицин. ВЛИЯНИЕ ДИСПЕРСИОННОГО НИТРИДВАНАДИЕВОГО УПРОЧНЕНИЯ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АЗОТИРОВАННЫХ И ЦЕМЕНТИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ	131
Т.В. Лысенко, Н.И. Замятин, М.П. Тур. ОПТИМИЗАЦИЯ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ОТЛИВОК ИЗ ЛЕГКОПЛАВКИХ СПЛАВОВ ПРИ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ В КОКИЛЕ С ОБЛИЦОВКОЙ ИЗ СИЛИКОНОВОЙ РЕЗИНЫ	132
Р.В. Лютий, Д.В. Люта. ХОЛОДНОТВЕРДНА АЛЮМОФОСФАТНА СУМІШ ДЛЯ ЛИВАРНИХ СТРИЖНІВ	133
И. И. Максютя, Ю. Г. Квасницкая, Е. В. Михнян, А. В. Нейма «ГОРЯЧЕЕ» РАСТВОРЕНИЕ КАК СПОСОБ УДАЛЕНИЯ ППС-МОДЕЛЕЙ	136
І. М. Мамаєва, Л.С. Золотар ЦЕХ ЛИТТЯ ПІД ТИСКОМ ЯК ОБ'ЄКТ МОДЕРНІЗАЦІЇ	138
В. А. Мамишев, О. И. Шинский, Л. А. Соколовская. ОБ УПРАВЛЕНИИ ИНТЕНСИВНОСТЬЮ ТЕПЛООБМЕНА В ПРОЦЕССЕ ЗАТВЕРДЕВАНИЯ ОТЛИВОК В ФОРМЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПЛАКИРОВАННОЙ ДРОБИ	140

О. А. Могилевцев, С. А. Стороженко. ПРОЦЕССЫ МОДИФИЦИРОВАНИЯ ЧУГУНА МАГНИЕМ	142
Р. С. Надашкевич, В. П. Лихошва. СТІЙКІСТЬ ПРОЦЕСУ ПОВЕРХНЕВОГО НАГРІВУ ПЛАСТИНИ ПЛАЗМОВИМ ДЖЕРЕЛОМ СТРУМУ	144
І. А. Небожак. ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ЛГМ-ПРОЦЕСУ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ГРАФІТИЗУЮЧОГО МОДИФІКУВАННЯ СІРОГО ЧАВУНУ У “ПОРОЖНИНІ” ЛИВАРНОЇ ФОРМИ	146
В. Г. Новицкий, С. Я. Шипицын, В. А. Локтионов-Ремизовский, А. П. Шатрава, И. В. Олексенко. ВЛИЯНИЕ ЛАЗЕРНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТАЛИ Fe-18Cr-10Cu-1,2C	148
А. В. Ноговицын, И. Р. Баранов. НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ПРОЦЕССА ДВУХВАЛКОВОЙ РАЗЛИВКИ-ПРОКАТКИ СТАЛЬНОЙ ПОЛОСЫ	150
А. С. Нурадинов, В. Ю. Шейгам., А. Г. Пригунова, Т. Г. Цир, Л. К. Шеневидько. ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛОКАЛЬНОГО КРИСТАЛЛООБРАЗОВАНИЯ В ПРОЦЕССЕ ВИБРАЦИИ	152
А. А. Паренюк, В. А. Середенко СТАБИЛИЗАЦИЯ ЭМУЛЬГИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ СПЛАВА НА ОСНОВЕ МЕДИ С ЗОНОЙ НЕСМЕШИВАНИЯ ЖИДКИХ ФАЗ ПРИ ПЛАВКЕ В ИНДУКЦИОННОЙ ТИГЕЛЬНОЙ ПЕЧИ	154
А. А. Паренюк, В. А. Середенко. ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАСТВОРЕНИЯ ЛИГАТУРЫ FeCrC В МЕДНОМ РАСПЛАВЕ В ИНДУКЦИОННОЙ ТИГЕЛЬНОЙ ПЕЧИ	156
А. А. Паренюк, В. А. Середенко. ВЗАИМНАЯ ДИФфуЗИЯ КОМПОНЕНТОВ ПРИ СПЛАВЛЕНИИ МЕДИ С ЛИГАТУРОЙ FeCrC	158
О.А. Пеликан, Е.А. Рейнталь, Д.В. Глушков, В.П. Лихошва. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ СКОРОСТЬЮ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВОЛНЫ ТВЕРДОФАЗНОГО ГОРЕНИЯ	160
О. И. Пономаренко, А.Н. Головчанский, С.Д. Евтушенко. ПРИМЕНЕНИЕ ПЕСКОВ ШАРОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ДЛЯ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА	161

А. Г. Пригунова, М. В. Кошелев, В. Ю. Шейгам, Т. Г. Цир, А. Г. Вернидуб. ЭВОЛЮЦИЯ МИКРОСТРУКТУРЫ ОТЛИВКИ ИЗ СПЛАВА АК5М2 В МЕДНОМ КРИСТАЛЛИЗАТОРЕ КЛИНОВИДНОЙ ФОРМЫ	162
И. В. Рафальский, Б. М. Немененок, К.А. Жук. ЖИДКО-ТВЕРДОФАЗНЫЕ ПРОЦЕССЫ ПОЛУЧЕНИЯ ЛИТЕЙНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ АЛЮМИНИЯ	164
Г. А. Румянцева, П. Э. Ратников. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ УГАРА ЛЕГИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ ВЫПЛАВКЕ ХРОМИСТЫХ ЧУГУНОВ В ИНДУКЦИОННЫХ ПЕЧАХ ПОВЫШЕННОЙ ЧАСТОТЫ	166
О.О. Савінок, В.І. Гонтаренко, О.С. Сергієнко. ТЕХНОЛОГІЇ 3D ДРУКУ У ЛИВАРНОМУ ВИРОБНИЦТВІ	168
Ю.А. Свинороев. РАЗУПРОЧНИТЕЛИ КОМПЛЕКСНОГО ДЕЙСТВИЯ ДЛЯ ЖИДКОСТЕКЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ	170
А.Ю. Семенко. ВИЗНАЧЕННЯ ПОТУЖНОСТІ ТЕПЛОВИХ ВТРАТ У МАГНІТОДИНАМІЧНІЙ УСТАНОВЦІ ДЛЯ АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ	173
К.Г. Семенов, К.А. Батышев, Ю.А. Свинороев. ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СПЛАВЫ НА МЕДНОЙ ОСНОВЕ	175
О. С. Сергієнко, Є. В Петров, О. С. Войновська. ПЕРЕВІРКА ЕМПІРИЧНИХ РОЗРАХУНКІВ ЛИВНИКОВОЇ СИСТЕМИ ЗА ДОПОМОГОЮ КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ	177
Е. В. Середенко. КОМПЛЕКСНОЕ ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ ОХЛАЖДЕНИЯ И ПОСТОЯННОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА РАЗМЕР ЗЕРНА ЛИТОГО СПЛАВА ТИПА ВАЛ 10	179
О. L. Skuibida. ENERGY SAVING TECHNOLOGY OF HEAT TREATMENT OF RECYCLED ALUMINUM ALLOYS	181
В. А. Слюсарев, П. Б. Каляжный. ОСОБЕННОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ АРМИРОВАННЫХ ОТЛИВОК ПО ГАЗИФИЦИРУЕМЫМ МОДЕЛЯМ	183
Я.О. Сокрута, В.А. Ситник, О.С. Сергієнко. ТЕХНОЛОГІЇ 3D ДРУКУ В ЛИВАРНОМУ ВИРОБНИЦТВІ	185
В. О. Стригун, Н. М. Волошин, С.В. Гнилокурєнко. ДОСЛІДЖЕННЯ З ПИТАНЬ СТАНДАРТИЗАЦІЇ В ДІЯЛЬНОСТІ ТК 177 «ЛИВАРНЕ ВИРОБНИЦТВО»	187

А. Н. Тимошенко, В. П. Лихошва, М. И. Голубчик. МОДЕЛИРОВАНИЕ НАГРЕВА ЧАСТИЦ В УСЛОВИЯХ ЛАЗЕРНОГО И ГИБРИДНОГО ЛАЗЕРНО-ПЛАМЕННОГО НАГРЕВА	189
Ю. Н. Фасевич. СТРУКТУРА УПРАВЛЕНИЯ КРИСТАЛЛИЗАЦИЕЙ ОТЛИВКИ ЗА СЧЕТ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПРИБЫЛЕЙ НА БАЗЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО АЛГОРИТМА ПРОЦЕССА ЛИТЬЯ	191
В.Е. Хрычиков, Ю.С. Пройдак, Е.В. Меняйло. ВЛИЯНИЕ ВЫДЕЛЕНИЯ СКРЫТОЙ ТЕПЛОТЫ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ НА ПРОЦЕСС ЗАТВЕРДЕВАНИЯ ОТЛИВКИ В КОМБИНИРОВАННОЙ КОКИЛЬНО-ПЕСЧАНОЙ ФОРМЕ	194
І. А. Шалевська, Т. В. Шевчук, Є. В. Погребач, С. В. Коломійцев. ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ РІЗНОВИДІВ ТОЧНИХ МЕТОДІВ ЛИТТЯ	195
А. И. Шамрай, Е. А. Костик, Д. В. Мариненко, О. А. Чибичик. ОПТИМИЗАЦИЯ РАСЧЕТА И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРИБЫЛЕЙ ДЛЯ ОТЛИВОК ИЗ НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ	198
А. П. Шатрава, В. П. Лихошва. КОМБИНИРОВАННЫЙ ЛИТЕЙНО-ЛАЗЕРНЫЙ МЕТОД СОЕДИНЕНИЯ ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫХ И ЦВЕТНЫХ СПЛАВОВ	199
В. Ю. Шейгам, Н. П. Исайчева, А. Г. Пригунова, Л. К. Шеневидько. ВЛИЯНИЕ РЕВЕРСИВНОГО ПЕРЕМЕШИВАНИЯ НА СТРУКТУРУ ПОТОКОВ В РАСПЛАВЕ	201
О. И. Шинский, Шалевская И. А., Шинский В. О. «ПРИМЕНЕНИЕ ПРИНЦИПА ПАРЕТО ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПАРАМЕТРОВ И ЛИТЕЙНЫХ ОБЪЕКТОВ ПРИ ЛИТЬЕ ПО ГАЗИФИЦИРУЕМЫМ МОДЕЛЯМ НА КАЧЕСТВО ОТЛИВОК»	203
С. Я. Шипицын, Т. В. Степанова, В. Ф. Мазанко, А. В. Филатов. ВЛИЯНИЕ ДИСПЕРСИОННОЙ НИТРИДНОЙ ФАЗЫ В МАТРИЦЕ НА ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЕ УГЛЕРОДА В ЗОНЕ ЦИКЛИЧЕСКОГО СИЛОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРИ ИСПЫТАНИИ СТАЛЕЙ НА УСТАЛОСТНУЮ ВЫНОСЛИВОСТЬ	205
О. В. Шматко, В. П. Лихошва, Л.М. Клименко. МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАТВЕРДЕВАНИЯ РАСПЛАВА В КРИСТАЛЛИЗАТОРЕ ПРИ	

ИЗГОТОВЛЕНИИ БИМЕТАЛЛИЧЕСКОЙ КОНСТРУКЦИИ ЛИТЕЙНО-ПЛАЗМЕННЫМ СПОСОБОМ	208
Ю. А. Шульте, В. И. Гонтаренко, В. А. Титаренко. МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ И СВОЙСТВА СТАЛИ	209
В. А. Щерецкий, А. С. Затуловский, Е. А. Набока СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ВТУЛКАХ С МОНОМЕТАЛЛИЧЕСКИМ И КОМПОЗИЦИОННЫМ ПЛАКИРУЮЩИМ СЛОЯМИ	211
В. А. Щерецкий, А. С. Затуловский, Е. А. Набока НОВЫЕ ЛИТЫЕ КОМПОЗИТЫ НА ОСНОВЕ НЕСМЕШИВАЮЩИХСЯ КОМПОНЕНТОВ	213
V. Yurchenko, T. Berlizeva, O. Ponomarenko. DIFFERENT WAYS OF INPUT OF ADDITIONS IN CHM WITH LIQUID GLASS	215
И. С. Юсубов, Е. А. Костик, Д. В. Мариненко, О. А. Чибичик. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЛИТНИКОВОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ СТАЛЬНЫХ РАЗНОСТЕННЫХ ОТЛИВОК	216
I.C. Якуб, O.C. Сергієнко. ВІБРО-ВАКУУМУВАННЯ ГІПСОВИХ ФОРМ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ХУДОЖНІХ ВИЛИВКІВ ПРИ ЛИТТІ ЗА ВИТОПЛЮВАННЯМИ МОДЕЛЯМИ	217
М.М. Ямшинський, Г.Є. Федоров. ОКАЛИНОСТІЙКІСТЬ ЖАРОСТІЙКИХ СТАЛЕЙ ЗАЛЕЖНО ВІД ВМІСТУ В НИХ ВУГЛЕЦЮ ТА ТИТАНУ	219
В.В. Ясюков, Т.В. Лысенко, А.А. Бондарь, Е.А. Пархоменко. ВЛИЯНИЕ СЕРЫ НА СВОЙСТВА СТАЛЬНЫХ ОТЛИВОК	221
В.В. Ясюков, Т.В. Лысенко, Л.И. Солоненко. ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ ОТЛИВОК ЗА СЧЕТ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТИ	223
В.В. Ясюков, М.П. Тур, А.И. Гофман. ФОРМИРОВАНИЕ КАЧЕСТВЕННЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ ОТЛИВОК	225

УДК. 536:539.21:621:664:669.01 (075)

Є. Г. Афтанділянц

Національний університет біоресурсів и природокористування України, Київ

**ЗАКОНОМІРНОСТІ ВИДІЛЕННЯ ВТОРИННИХ ФАЗ В АУСТЕНІТНИХ
НЕІРЖАВІЮЧИХ СТАЛЯХ**

Поліпшення властивостей аустенітних неіржавіючих сталей найбільш оптимально досягається шляхом модифікування і мікролегування. Перспективним представляється дослідження впливу таких елементів, як бор, церій, ванадій і мідь. Проте, для розробки ефективних режимів модифікування та мікролегування необхідно встановити закономірності їх впливу на процес виділення вторинних фаз при підвищених температурах.

Унаслідок незначної розчинності вуглецю (від 0.007 до 0.03%) при температурах експлуатації 600 – 700 °С, аустеніт неіржавіючих сталей після гартування є пересиченим твердим розчином, в якому при експлуатації виділяються карбіди, карбонітриди, нітриди і σ - фаза.

Інтенсивність виділення вторинних фаз в неіржавіючих сталях визначається в основному ступенем пересичення твердого розчину вуглецем, азотом і іншими елементами утворюючими вторинні фази, їх розчинністю в аустеніті і швидкістю дифузії компонентів утворюючих вторинні фази. Найбільш інтенсивно цей процес протікає при температурах 650 - 800 °С.

Результати фазового аналізу показали, що мікролегування і модифікування аустенітних неіржавіючих сталей церієм, бором, ванадієм і міддю практично не впливає на хімічний склад карбідів і сигма фази. Проте спостерігається істотне диспергування і підвищення однорідності розподілу вторинних фаз, а також зсув процесу початку їх виділення в область більш тривалих ізотермічних витримок.

Аналіз експериментальних даних показує, що при комплексному мікролегуванні і модифікуванні спостерігається зміна масивних плівкових виділень по межах зерен, характерних для базових сталей, на численні дисперсні частинки. При цьому форма частинок карбідів модифікується з пластинчатою на глобулярну.

Результати досліджень показують, що твердо розчинний вплив Се, В, Сu, V такий, що Се гальмує, а В, Сu, V прискорюють процес виділення вторинних фаз. В

той же час Ce і V повинні зменшувати, а B і Cu збільшувати кількість і розмір карбідів і сигма фази. Проте при цьому вплив цих елементів на коефіцієнти ліквіації Mn , Cr , Ni , розмір зерна аустеніту і кінетичні чинники такий, що сумарна їх дія екстремальна.

Комплексний вплив Ce , B , Cu , V екстремальний і досягає максимальної ефективності диспергування і підвищення однорідності розподілу вторинних фаз при вмісті (% мас.) $\text{Ce} = 0.03$, $\text{B} = 0.003$, $\text{Cu} = 0.5$, $\text{V} = 0.3$. При цьому розмір карбідів і сигма фази зменшується відповідно в 1.4 і 5.7 рази, а кількість карбідів в 1.7 рази. Оцінка ефективності впливу Ce , B , Cu , V на процес виділення карбідів і сигма фази показує, що по збільшенню ефективності впливу елементи можна розташувати в наступній послідовності:

- час до початку виділення карбідів з твердого розчину - Ce , V , B , Cu при цьому відносна ефективність впливу виражається відповідно наступним співвідношенням - 1 : 4.2 : 6.2 : 15.4;
- розмір карбідів - V , Ce , Cu , B при співвідношенні 1 : 1.1 : 1.9 : 3.4;
- кількість фази карбиду - Ce , V , Cu , B при співвідношенні 1 : 1.04 : 1.08 : 2.41;
- час до початку виділення сигма фази з твердого розчину - V , B , Ce , Cu при співвідношенні 1 : 2.5 : 15.7 : 53.5;
- розмір сигма фази - Ce , V , Cu , B при співвідношенні 1 : 2.3 : 3.5 : 5.8.

В заключенні необхідно зазначити, що вплив модифікування і мікролегування Ce , V , Cu , B на формування неметалічних включень і вторинних фаз складний і неоднозначний та може бути оптимізований тільки із застосуванням комп'ютерного аналізу встановлених кількісних закономірностей.

УДК. 536:539.21:621:664:669.01 (075)

Є. Г. Афтанділянц

Національний університет біоресурсів и природокористування України, Київ

ВЛИЯНИЕ СВОЙСТВ ЖИДКОГО МЕТАЛЛА НА ДЕНДРИТНУЮ СТРУКТУРУ СТАЛЬНЫХ ОТЛИВОК

Известно, что свойства жидкого металла являются важным фактором, который оказывает существенное влияние на формировании дендритной структуры структуры отливок. Однако, в литературе практически отсутствует анализ механиз-

мов такого влияния. Вместе с тем не вызывает сомнения, что параметры межатомного взаимодействия, и связанные с ними поверхностное натяжение, плотность и вязкость расплава оказывают существенное влияние на закономерности первичной кристаллизации отливок.

Учитывая, что в уравнения, описывающие такие определяющие параметры кристаллизации, как скорость зарождения центров и линейная скорость кристаллизации, входят характеристики поверхностного натяжения, вязкости и плотности расплава исследовали их влияние на дендритную структуру литых низко- и среднелегированных конструкционных сталей.

Для пределов типичного содержания в них легирующих элементов и примесей установили аналитические закономерности изменения поверхностного натяжения, вязкости и плотности расплава, учитывающие влияние химического состава на энергию связи легирующих элементов, модификаторов и примесей с железом и энергию активации вязкого течения. Относительная погрешность расчетов составляла 0,5-10,8%.

Анализом полученных аналитических уравнений показано, что влияние химического состава на свойства расплава конструкционной стали существенно. По степени возрастающего влияния элементы располагаются в следующей последовательности:

поверхностное натяжение - увеличивают V, S, Mn, O, P и уменьшают Cr, N, C, S;

кинематическая вязкость - увеличивают V, Cr, N, C, O, S и уменьшают Si, Mn, P;

плотность - увеличивают V, Mn, N, Si, O, P и уменьшают Cr, C, S.

Корреляция между изменением свойств жидкого металла и структурой металла в твердом состоянии отмечается во многих исследованиях. Исследование парной корреляции между значениями поверхностного натяжения, вязкости и плотности при температуре ликвидуса и характеристиками дендритной структуры отливок, изготовленных методом точного литья ($d=20\text{мм}; l=150\text{мм}$) и затвердевших в идентичных условиях охлаждения показало, что с увеличением плотности и вязкости расплава при температуре ликвидуса дисперсность дендритной структуры увеличивается. Наиболее эффективное влияние на характеристики дендритной структуры оказывает плотность расплава.

Анализ влияния поверхностного натяжения показал, что для длины и ширины столбчатых и длины дезориентированных дендритов наблюдается обратная, а для поперечных размеров дезориентированных дендритов и расстояния между осями второго порядка прямая тенденция к изменению размеров при уменьшении поверхностного натяжения.

Переходя к комплексной оценке, установили, что между поверхностным натяжением, плотностью и вязкостью расплавов конструкционных сталей при температуре ликвидуса и характеристиками дендритной структуры существуют достоверные линейные зависимости, которые показывают, что диспергированию дендритной структуры способствуют повышение значений вязкости и плотности и снижение значений поверхностного натяжения. При этом наиболее значимо влияние плотности расплава. Установленные закономерности значимы с вероятностью от 90 до 95% и погрешностью от 7 до 24%.

УДК. 536:539.21:621:664:669.01 (075)

Є. Г. Афтандіянц, К. Г. Лопатько

Національний університет біоресурсів и природокористування України, Київ

ВПЛИВ РОЗМІРУ ЗЕРЕН НА МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ НАНОМАТЕРІАЛІВ

Механічні властивості нанооб'єктів та наноструктурних полікристалічних металів і сплавів визначаються розміром і розподілом їх структурних складових, станом границь зерен і субзерен.

В сучасних структурних моделях міцності виділено характерні розміри, при яких змінюється залежність характеристик міцності від розміру зерна. При зменшенні розміру зерна металевих матеріалів з 10 до 1 мікрона збільшення міцності залізо - вуглецевого сплаву змінюється від 20 до 60 МПа, а для хрому - від 37 до 47 МПа. При диспергуванні зерен у нанорозмірному діапазоні, наприклад з 450 до 70 нм спостерігається більш ефективне зміцнення Fe-Ti сплаву з 20 до 120 МПа, а Cr - з 60 до 470 МПа.

Зміна характеру зміцнення при диспергуванні зерен у нанорозмірному діапазоні пов'язано, з тим, що при нормальній температурі границі структурних елементів при деформації, яка перевищує межу текучості, містять високу концентрацію неупоряд-

кованих дефектів дислокаційного типу (дислокацій у ґратках, продуктів дислокаційних реакцій при передачі ковзання через границі, дислокаційних напівпетель, що генеруються джерелами, які знаходяться на границях).

Рівень зміцнення, який реалізується на однокомпонентних нанокристалічних матеріалах, наприклад заліза, навіть після значних деформацій не перевищує 1500 - 1600 МПа. Водночас для високовуглецевих сталей з нанорозмірною структурою досягається міцність на рівні 4500 МПа. Така міцність досягається в наслідок того, що по границях нанорозмірних структурних елементів виділяються тонкі частинки цементиту. При цьому зміцнення обумовлено розміром деформаційних комірок, а вплив міжпластинчатих відстаней в перліті і розмір перлітних колоній є вторинним фактором.

При розмірах зерен менше 100 нм може спостерігатися відсутність зміцнення або зниження механічних властивостей у зв'язку з інтенсивним збільшенням об'ємної частки дефектного матеріалу (границь зерен, потрійних стиків, приграничних об'ємів) при подальшому зменшенні розміру зерна.

У випадку алюмінієвого сплаву і низьковуглецевої сталі при переході з мікро- в нанорозмірний стан руйнування відбувається при більш високому напруженні та низької деформації. В нанорозмірному інтервалі при збільшенні величини зерен від 270 до 660 нм для алюмінієвого сплаву і від 210 до 800 нм для низьковуглецевої сталі спостерігається екстремальна зміна деформації при якій відбувається руйнування в першому випадку і монотонне зменшення у другому.

Міцність нанокристалічних металевих матеріалів при розтягуванні істотно перевищує міцність масивних металів і сплавів. При цьому спостерігаються досить високі значення пластичності, як наслідок значної зернограничної деформації.

При переході з масивного в наноструктурний стан межа міцності і текучості нікелевої стрічки збільшується в 2,5 - 9 разів. Однак при цьому спостерігається зниження пластичності. Для стрічки з розміром зерна близько 100 нм спостерігається оптимальне поєднання міцності і пластичності (відносне видовження близько 15%). У випадку стрічки з розміром зерна порядку 10 нм високим показникам міцності і твердості відповідає низька пластичність.

Зменшення середнього розміру зерен титану промислової чистоти з 200 до 100 нм призводить до збільшення межі текучості на 63% і зниження відносного видовження в 3 рази.

Корозійностійка аустенітна сталь 12Х18Н10Т з розміром зерна 100 нм має межу текучості 1340 МПа, що практично в 6 разів перевищує межу текучості цієї масивної сталі після термообробки. При цьому відносне видовження дорівнює 27%.

Міцність низьковуглецевих малолегованих сталей з нанокристалічної структурою при кімнатній температурі в 2-2,5 рази вище, ніж масивних аналогів, при збереженні задовільної пластичності і високої в'язкості.

Порівняння залежності міцності на розтяг від щільності структурних дефектів показує, що наноструктурні матеріали мають більш високий рівень міцності в порівнянні з традиційними масивними конструкційними матеріалами, об'ємними і нитковидними кристалами.

УДК 621

В. А. Андерсон

Научно-техническое предприятие «КВАРЦ», г. Киев

ЛИТЬЕ ПО ГАЗИФИЦИРУЕМЫМ МОДЕЛЯМ - СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ

В настоящее время ЛГМ наиболее широко применяется в США и Китае. Дальнейшее развитие этого перспективного процесса связано с его внедрением небольших литейных производств с высокой рентабельностью. Однако, опыт освоения мелких литейных цехов в России, Украине, Белоруси и Казахстана показал, что качество произведенных отливок не соответствует мировым стандартам. Это, в первую очередь, связано с применением устаревших пеноматериалов, низким уровнем оборудования и несовершенствованной технологии. Представленная работа направлена, именно, на комплексное решение указанных проблем, что позволяет значительно расширить область применения данного процесса, и подтвердить его широкие возможности.

Новые пеноматериалы. Нами проведены широкие испытания и внедрение новых перспективных пеноматериалов, в том числе, литейных пенополистиролов и сополимеров. Использование сополимеров позволяет получать качественные отливки из стали и высокопрочного чугуна без дефектов, свойственных ранее

применяемым пенополистиролам, используемых в строительстве, для упаковочной тары и разовой посуды.

Использование сополимера, который состоит из двух компонентов: пенополистирола (EPS) и полиметилметакрилата (PMMA) исключает возникновение дефектов – науглероживание и раковин в отливках из ВЧ и стали. При заливке моделей из сополимеров, содержащийся в нем ПММА под воздействием жидкого металла сразу же переходит в газообразное состояние.

Наполнители. Освоено применение карбокерамики (пропантов) взамен кварцевого песка. Данный продукт производится в широких масштабах в России для нефтянников.

Новый продукт представляет собой синтетический муллит и имеет следующие преимущества:

- высокую термостойкость за счет муллита;
- повышенную текучесть за счет округлости зерен (0,9 вместо 0,7 мм);
- большую газопроницаемость (в 2 раза выше чем у кварцевого песка) за счет низкого содержания пыли.

Противопригарные покрытия. Высокое качество отливок ЛГМ получено с использованием фирменных противопригарных покрытий. При этом, выработаны критерии выбора их для различных сплавов в зависимости от их технологических свойств: огнеупорности, газопроницаемости, адгезионной способности и седиментационной устойчивости.

Технология и новое оборудование. Процесс ЛГМ состоит из двух этапов:

- получение модельных кластеров (блоков) из пеномоделей (белая сторона процесса)
- формовка подготовленного кластера методом виброуплотнения наполнителя в контейнере (опоке) с последующей заливкой под вакуумом (черная сторона процесса).

Оборудование для изготовления пеномодельных блоков. Высокое качество пеномоделей обеспечивается только при условии применения автоматизированного комплекса, включая парогенератор, пароаккумулятор для стабилизации параметров (давление и температура пара), подвспениватель, обеспечивающий получение равномерных подвспененных гранул заданной плотности, модельные автоматы для получения моделей с равномерной структурой по всему объему и высокой размерной точностью.

Экологическая безопасность. Разработана система экологической безопасности для линии ЛГМ. Данная система состоит из вакуумной системы, включая вакуумный насос с ресивером и установку абсорбционно-биохимической очистки (АБХУ) (защищена патентом №010270 "Способ очистки отходящих газов от органических соединений и устройство для его осуществления", дата выдачи 29.08.2008).

В процессе заливки пеномоделей расплавленным металлом образующиеся газы удаляются из контейнера с помощью вакуумной системы и поступают в установку АБХУ. В установке АБХУ улавливаемые вредные газы, подаваемые с помощью вакуумного насоса, адсорбируются водой. Регенерация образующегося абсорбционного раствора обеспечивается деятельностью специально селекционированного штамма микроорганизмов-деструкторов, иммобилизованных на инертном волокнистом носителе (насадке).

Для обеспечения жизнедеятельности микроорганизмов в раствор периодически вводятся биодобавки в виде солей, содержащих фосфор, азот и калий, а также подается сжатый воздух через аэраторы для поддержания кислородного режима раствора. Сжатый воздух подается из цеховой сети.

Проведенные исследования эффективности данной системы показали. Что данная система полностью гарантирует экологическую безопасность процесса ЛГМ.

Выводы. Разработанное новое оборудование и отработанные на нем оптимальные параметры технологии на основе новых материалов позволили стабильно получать качественные отливки из черных и цветных сплавов, в том числе из высокопрочного чугуна и легированных сталей, отвечающих современным стандартам и экологической безопасности.

Данные разработки позволяют значительно расширить объемы производства точных отливок методом ЛГМ.

UDC 539.3/6:669.055(075.8)

Ahmed Sundus Mohammed Noori Ahmed¹, O. V. Akimov², K. O. Kostyk² ¹The

University of Technology, Iraq

²National Technical University

«Kharkiv Polytechnic Institute»

PECULIARITIES OF PRODUCTION OF THE ALLOY WITH SHAPE MEMORY EFFECT

One of the special properties of alloys is the shape memory effect, which is widely used in various fields of engineering (special machine building, instrument making, aerospace engineering, home appliances, etc.). Iron-based alloys with a high level of performance and special properties are interesting for metallurgy and mechanical engineering today. In this regard, relevant research is devoted to the search and development of new alloys.

The purpose of this work is to produce an iron-based alloy with shape memory effect.

The material of the study is a new iron-based alloy with shape memory effect, which contains iron, manganese, silicon, carbon, chromium, nickel, cobalt, copper, vanadium, niobium and molybdenum. The selected chemical composition ensured the dispersion hardening of the alloy during subsequent heat treatment.

Melting of this alloy should be carried out in a vacuum to prevent the occurrence of casting defects. It is experimentally established that the alloy has sufficient mechanical characteristics. The results of the studies have shown that the surface oxidation does not occur when the samples are heated up to 1000 °C on the open air. During the experiment on the corrosion resistance of the alloy, it was found, that the alloy is corrosion resistant and is not prone to change its mass in a 10% solution of sulfuric acid.

The results of the studies showed that the degree of shape recovery of the proposed alloy is up to 95%.

Thus, the proposed alloy has a high degree of shape recovery while maintaining such important properties as strength, corrosion and scale resistance.

УДК 621.74:669.3

К.А. Батышев¹, М.Г. Георгиевский², К.Г. Семенов¹, Ю.А. Свинооров³, Г.Л. Зеркалов⁴

¹МГТУ им. Н.Э. Баумана

²НПО «Гидравлика»

³Каменский институт (филиал), ЮГПУ им. М.И. Платова, г. Каменск – Шахтинский

⁴Стенфордский университет

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ОТЛИВОК ИЗ МЕДИСТЫХ СИЛУМИНОВ С ДОБАВКАМИ СВИНЦА ПОЛУЧЕННЫХ СПОСОБОМ ЛКД

Были исследованы температурные интервалы плавления отливок из сплавов системы Al-Si-Cu-(Pb), изготовленных литьем с кристаллизацией под давлением (ЛКД). Химический состав сплавов приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав исследованных сплавов

№ отливки	Содержание компонентов, %							
	Al	Si	Cu	Mn	Mg	Fe	Zn	Добавка Pb
106	Основа	6,2	6,5	0,5	0,3	0,8	0,2	–
303	Основа	6,2	6,5	0,5	0,3	0,8	0,2	4
605	Основа	6,2	6,5	0,5	0,3	0,8	0,2	10

Механические свойства отливок (σ_b , δ) определяли на образцах диаметром 5 мм с головками диаметром 11 мм и рабочей длиной 30 мм. Они отличались от образцов, рекомендованных ГОСТ 1583-89 для алюминиевых сплавов, что отразилось на полученных результатах (в сторону снижения показателей прочности и пластичности из-за разрыва в местах перехода от головки к рабочей длине).

Известно [1, 2, 3], что прочностные свойства отливок, изготовленных ЛКД, повышаются (по сравнению с кокильными отливками) на ~15...30%, а пластические – в 2-4 раза. При этом наибольший рост рассмотренных показателей свойств приходится на область давлений от атмосферного до 150...200 МПа.

Полученные результаты исследований медистых силуминов, закристаллизованных под механическим давлением, в основном подтверждают эти результаты, однако имеет место и отклонение от имеющихся зависимостей.

В обобщенном виде зависимости показателей механических свойств отливок из медистых силуминов (с добавками и без добавок свинца) приведены на рисунке 6. Они свидетельствуют о том, что с увеличением давления прессования σ_B , δ и НВ повышаются [4]: σ_B ~на 40-60%; δ ~на 50-60%; НВ на 30...35%.

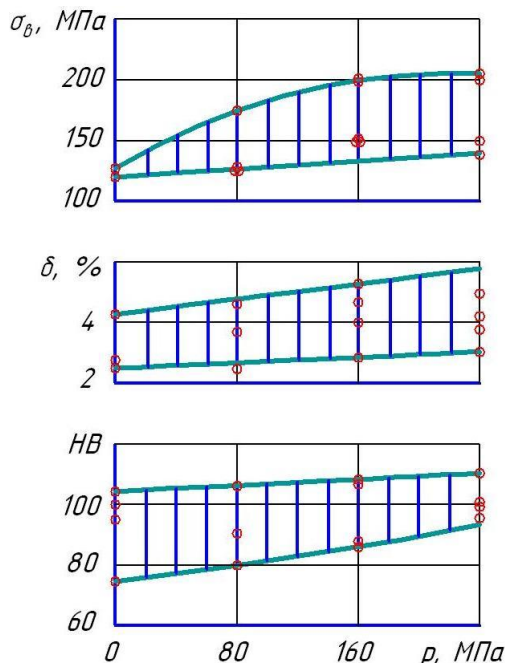


Рисунок 6 – Зависимость показателей механических свойств отливок из сплава АК7М6 от давления прессования при кристаллизации (добавка 0...10 %Pb)

Вывод: Механические свойства отливок из медистых силуминов, как и из других сплавов, повышаются с увеличением давления прессования при кристаллизации.

Литература

1. Батышев А.И. Кристаллизация металлов и сплавов под давлением. – 2-е изд. – М.: Металлургия, 1990. – 144 с.
2. Батышев К.А. Литье с кристаллизацией под давлением. – М.: Изд-во МГОУ, 2009. – 167 с.
3. Безпалько В.И. Литье с кристаллизацией под давлением силуминов. – М.: Изд-во МГОУ, 2012. – 208 с.
4. Батышев А.И., Батышев К.А., Георгиевский Г.М., Георгиевский М.Г. Технологическое повышение надежности шестеренных насосов.// Технология машиностроения, № 5, 2014, С. 44 – 48.

УДК 669.715:546.821:546.27:669.112

В.И. Белик, А.Г. Пригунова, В.М. Дука, А. И.Семенченко.

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

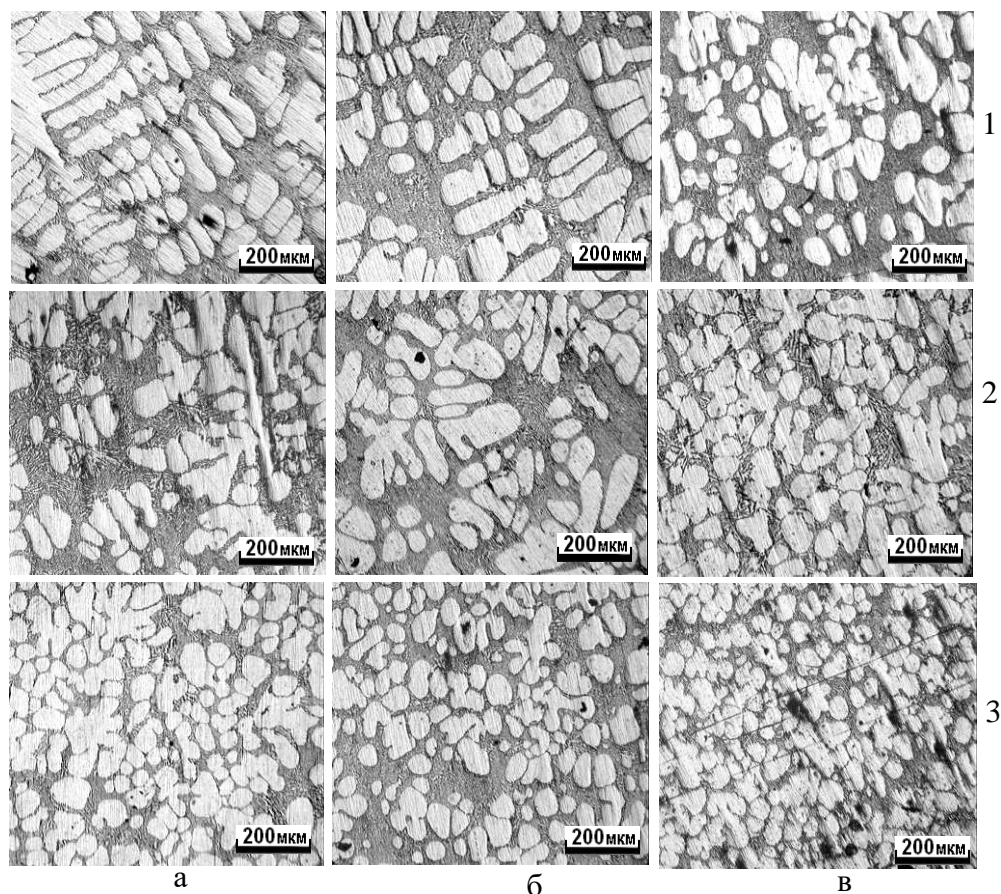
Тел.: 0444241150, e-mail: belikvi@ukr.net

РАСШИРЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ГРАНИЦ ПОЛУЧЕНИЯ ЗАГОТОВОК ДЛЯ РЕОЛИТЬЯ В УСЛОВИЯХ ПРЯМОГО ТЕРМИЧЕСКОГО МЕТОДА

Как известно, лигатуры, содержащие титан и бор, являются эффективным зерноизмельчающим средством для алюминия и деформируемых сплавов на его основе, причем лигатура AlTi5B1 более эффективна, но дороже, чем лигатура AlTi5. В работе исследована возможность замены лигатуры AlTi5B1 экономически более привлекательной лигатурой AlTi5 при получении заготовок для реолитья в условиях прямого термического метода (DTM).

Заготовку из сплава АК7ч отливали в стальной цилиндрический кокиль высотой 70 мм, с внешним диаметром 30 мм и толщиной стенки 1,6 мм при температурах заливки расплава 750 °С, 700 °С, 660 °С, 630 °С, 620 °С, массовая доля титана в модифицированном сплаве – от 0,12 % до 0,15 % для обоих типов исследованных модификаторов. Лигатура AlTi5B1 использовалась в виде прутка, лигатура AlTi5 - в виде пластин толщиной от 2 мм до 4 мм, полученных методом скоростного охлаждения (скорость охлаждения – от 10^2 °С/с до 10^3 °С/с). Как показали металлографические исследования, высокая скорость охлаждения способствовала уменьшению размеров интерметаллидов по сравнению с обычной чушковой лигатурой AlTi5 более чем в 10 раз. При этом средний объем частицы интерметаллида меньше, чем в прутковой лигатуре Al5Ti1B. Поэтому количество зародышеобразующих частиц при одинаковой массе вводимых лигатур больше в случае AlTi5, а их относительная поверхность больше, чем у компактных частиц лигатуры Al5Ti1B, благодаря чему они становятся более эффективным центром зародышеобразования.

На рис. 1 представлена морфология кристаллов α -фазы в средней части заготовок для реолитья. Установлено, что в условиях эксперимента полностью глобулярная (без присутствия розеток) структура получена лишь при использовании лигатур (рис. 1, фото 3б, 3 в).



Модифицирование: а – исходный сплав; б – лигатура Al 5Ti1B; в – лигатура Al5Ti. Температура заливки: 1 – 750 ° C; 2 – 660 ° C; 3 – 620 ° C

Рис.1 – Микроструктура средней части отливок сплава АК7ч в зависимости от температуры и вида лигатуры

Модифицирование сплава обоими лигатурами расширяет технологические границы DTM: увеличивается размер зоны образования глобулярной структуры по сечению отливки (край-середина-центр), использование лигатуры AlTi5, полученной методом скоростного охлаждения, повышает верхний температурный предел получения глобулярной структуры до 660 °C (рис.1, 2 в), тогда как при использовании лигатуры Al5Ti1B предельная температура заливки всего 630°C. Возможная причина этого - образование на частицах модификатора тонкого слоя атомов при затвердевании на них кристалла α-фазы в ходе заливки расплава в форму и сохранение этого слоя при дальнейшем нагреве выше температуры ликвидус сплава.

Использование метода скоростного охлаждения при производстве лигатуры AlTi5 позволяет заменить ею более дорогую лигатуру – AlTi5B1.

УДК 621.74

Берлізева Т.В, Пономаренко О.І., Зубішина А.В.,

Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут», Харків

ВИКОРИСТАННЯ ВІДХОДІВ ПІНОПОЛІСТІРОЛУ У ЛИВАРНОМУ ВИРОБНИЦТВІ ЯК ЗВ'ЯЗУЮЧОЇ ДОБАВКИ

Ливарне виробництво є основною заготівельною базою машинобудування. Виробництво деталей та виробів литтям – самий простий і економічний спосіб, тому він безперервно вдосконалюється, його здібності зростають, а область застосування розширюється, замінюючи в ряді випадків менш економічні способи отримання заготовок – штамповку та ковку. Для отримання якісних та економічно вигідних виливків велике значення має склад та властивості формувальних сумішей. Головним критерієм вибору складу сумішей служать їх властивості, які відповідають вибраному технологічному процесу виготовленню форм і стрижнів.

У наш час люди все більше почали замислюватися об охороні навколишнього середовища. Великі звалища відходів безупинно зростають і негативно впливають на екологію. Також на звалища потрапляють відходи полістеролу.

Полістирол являється одним із самих поширених синтетичних полімерів. Полістирол займає четверте місце у світовому таблі в ранзі полімерів – 7,5 % світового ринку. Він відноситься до термопластів загально технічного призначення. Володіючи хорошими міцнісними властивостями, прозорістю і прекрасним зовнішнім виглядом, полістирол широко використовується у виробництві товарів побутового призначення, сучасному будівництві. У ливарному виробництві є технологічний процес лиття по пінополістироловим моделям. Технологія виготовлення моделей із полістиролу розроблена достатньо глибоко. Вона здійснюється всіма методами переробки термопластів, добре зварюється і склеюється.

Однако, після використання полістирол не знаходить застосування, тому відходи пінополістиролу накопичуються у великій кількості, створюючи одну з головних екологічних проблем. Одним із методів використання цих відходів є застосування розчинів пінополістиролу у ливарному виробництві, як зв'язуючий матеріал.

В ході розробки технологічного процесу виготовлення якісних виливків з використанням пінополістиролу проведено два лабораторний експеримент. План експерименту являє собою репліку 2^{6-3} .

На основ отриманих даних побудовано математичну модель для сумішей з додаванням вспіненого полістиролу. Отримані наступні рівняння для плану експерименту 2^{6-3} :

$$y_1 = 6,3 - 0,45x_1 + 0,875x_2 + 2x_3 + 0,15x_1x_2 - 0,18x_1x_3 - 0,35x_2x_3;$$

$$y_2 = 0,29 - 0,09x_1 + 0,06x_2 - 0,03x_3 + 0,03x_1x_3.$$

де y_1 – міцність на стиск;

y_2 – обсіпальність;

x_1 – кількість уведеного в суміш спіненого полістиролу;

x_2 – температура сушки в електропечі; x_3 – час сушки;

Побудовано номограму для визначення оптимального складу суміші й просторові залежності міцності та осипальності суміші від кількості пінополістиролу при різних температурах сушки.

Оптимальним складом формувальної та стрижневої суміші слід вважати суміш, яка містить 2 % полістиролу, а температура і час теплової обробки має становити 90 °C і 90 хв., що задовольняє показники осипальності суміші та міцності на стиснення.

Механічні властивості формувальних і стрижневих сумішей на основі пінополістирольних зв'язуючих рівні значенням піщано-глинистих сумішей на інших зв'язуючих і можуть бути їх заміником в ливарному виробництві.

УДК 621.74

Берлізева Т.В., Пономаренко О.І., Швець М.В.,

Національний технічний університет

«Харківський політехнічний інститут», Харків

**ВИКОРИСТАННЯ ВІДХОДІВ ВСПІНЕНОГО ПІНОПОЛІСТИРОЛУ У
ЖИВИЧНОГО СКИПІДАРИ ЯК ЗНЕМІЦНЮЮЧОЇ ДОБАВКИ ДЛЯ ФОРМУВАЛЬНИХ
СУМІШЕЙ НА РІДКОМУ СКЛІ**

Лиття є самим універсальним способом отримання заготовок для деталей машин. Литтям можна одержувати виливки масою від декількох грамів до 600 тонн і більше. Це найбільш універсальний і дешевий спосіб отримання виливків.

Якість і вартість виливків в значній мірі залежать від правильного вибору складу і технологічних властивостей формувальних і стрижневих сумішей. Склад сумішей залежить від призначення, роду сплаву, що заливають, складності та відповідальності виливків, наявності необхідних вихідних матеріалів, серійності виробництва, технології виготовлення і збірки форм і стрижнів, планованої собівартості виливків.

Поширення холоднотвердіючих сумішей на основі рідкого скла стримується в основному через ускладнену вибивальність стержнів з виливків. Тому поліпшення вибивальності є актуальним завданням ливарного виробництва.

У даний час запропоновано багато різних добавок, які знижують залишкову міцність і тим самим покращують вибивальність.

Полістирол займає четверте місце у світовому таблі в ранзі полімерів – 7,5 % світового ринку. Полістирол являється одним із самих розповсюджених синтетичних полімерів. Полістирол розчиняється у багатьох розчинниках, найбільш використовуваний є живичний скипидар. Додавання спіненого полістиролу до формувальної і стрижневої суміші, з вмістом рідкого скла, являється ефективним засобом отримання якісних виливків та покращує вибивальність суміші.

Розчин пінополістиролу у живичному скипидарі може використовуватись у ливарному виробництві. Однак використання його у рідкоскляних сумішах не було використано й тому не вивчен його механізм впливу на властивості сумішей. Не було вивчено впливу спіненого пінополістиролу в живичному скипидарі на знеміцнення рідкоскляних сумішей.

В ході розробки технологічного процесу виготовлення якісних виливків з використанням рідкого скла та пінополістиролу було проведено лабораторний експеримент. План експерименту являє собою репліку 2^{3-1} .

Для плану експерименту 2^{3-1} :

$$y_1 = 0,38 + 0,08x_1 - 0,11x_2 - 0,07x_1x_2;$$

$$y_2 = 8,96 + 0,84x_1 + 0,31x_2;$$

де y_1 – залишкова міцність;

y_2 – міцність на стиск;

x_1 – кількість уведеного в суміш рідкого скла, %;

x_2 – спіненого полістеролу, %.

Побудовано номограму для визначення оптимального складу суміші й просторові залежності знеміцнення суміші від кількості рідкого скла та пінополістиролу.

Оптимальним складом формувальної та стрижневої суміші слід вважати суміш, яка містить 2 % полістиролу і 4 % рідкого скла, при температурі сушіння $t = 90^\circ\text{C}$.

При цьому міцність суміші достатня і складає 10 – 12 МПа, а знеміцнення суміші покращилась у 5 разів.

Використання розчину пінополістиролу у піщано-глинистих формах задовільнює санітарно-гігієнічні характеристики процесу і його техніко-економічну ефективність.

УДК 621.74:669.131.7

Д. Н. Берчук, В. Б. Бубликов

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, г. Киев

Тел.: (+38044) 424-00-50, e-mail: otdel.vch@gmail.com

КОВШОВОЕ И ВНУТРИФОРМЕННОЕ МОДИФИЦИРОВАНИЕ МАГНИЙ-КАЛЬЦИЕВОЙ ЛИГАТУРОЙ

Развитие процессов модифицирования характеризуется тенденцией перехода от ковшовых к более эффективным, экологичным и экономичным методам модифи-

цирования в проточных реакторах, в том числе расположенных непосредственно в литейных формах. Внутриформенное модифицирование обеспечивает наиболее оптимальное для свойств высокопрочного чугуна структурообразование при минимальном расходе модификатора, устраняет характерную для ковшовых методов проблему демодифицирования расплава и является экологически чистым процессом. Получившие широкое распространение за рубежом технологии внутриформенного модифицирования базируются на применении исходного жидкого чугуна с весьма низким содержанием серы (менее 0,01 %), поэтому актуальными представляются исследования, направленные на разработку эффективных технологий внутриформенного модифицирования расплава чугуна с повышенным содержанием серы, выплавляемого с применением в шихте недефицитных марок литейных и перелдельных чушковых чугунов. Для эффективного внутриформенного модифицирования расплава с повышенным содержанием серы необходимо дезактивировать её избыточное количество, превышающее оптимум (0,010-0,015 % S), при котором вводимый в расплав магний выполняет только функцию образования шаровидного графита в процессе кристаллизации чугуна.

Перспективным для модифицирования чугуна с повышенным содержанием серы представляется применение магний-кальциевой лигатуры. Кальций, являясь более активным, чем магний, десульфуратором и раскислителем улучшает модифицирующую способность лигатуры. Однако, магний-кальциевые лигатуры из-за их плохой растворимости и образования большого количества тугоплавкого шлака практически не применяются для внутриформенного модифицирования.

Изучали эффективность модифицирования комплексной магний-кальциевой лигатурой ЖКМК-4Р, содержащей (в % по массе): 7,7 Mg; 6,7 Ca; 1,2 РЗМ; 52,1 Si; ост. Fe, в ковше и литейной форме. Расход лигатуры составлял при ковшовом модифицировании – 2 %, а при внутриформенном – 1 %. Заливали ступенчатую пробу с толщиной ступеней 2,5; 5; 10 и 15 мм.

При схожем химическом составе чугуна после ковшового и внутриформенного модифицирования в расплав перешло 0,035 и 0,04 % магния со степенью сфероидизации графита в структуре ступеней ступенчатой пробы 80-85 и 90-95 %, соответственно. Данные о микроструктуре в ступенях различной толщины из высокопрочного чугуна после ковшового и внутриформенного сфероидизирующего модифицирования лигатурой ЖКМК-4Р приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Микроструктура образцов из высокопрочного чугуна после ковшового и внутриформенного модифицирования

Толщина образца, мм	Ковшовое модифицирование		Внутриформенное модифицирование	
	Количество цементита, %	Количество феррита, %	Количество цементита, %	Количество феррита, %
2,5	40	0	27	0
5	35	6	20	30
10	15	10	8	48
15	13	12	-	54

Применение дополнительного внутриформенного графитизирующего модифицирования позволяет получать тонкостенные отливки из высокопрочного чугуна с ферритно-перлитной металлической основой без структурно-свободных карбидов.

Из полученных данных видно, что, несмотря на плохие условия растворения магний-кальциевой лигатуры и образование шлака, который тормозит тепломассообменные процессы между расплавом и лигатурой, использование лигатуры ЖКМК-4Р при внутриформенном модифицировании способствует образованию меньшего количества цементита и большего количества феррита, по сравнению с ковшовым модифицированием, при снижении ее расхода в 2 раза. Подготовка более качественного базового расплава снижает затраты для последующей его обработки.

УДК 669.131.7:621.74

Д. Н. Берчук, Л. А. Зеленая, В. А. Овсянников

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, г. Киев

Тел.: (+38044) 424-00-50, e-mail: otdel.vch@gmail.com

КОМПЛЕКСНОЕ МОДИФИЦИРОВАНИЕ ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА

Фактором стабильности современных процессов внутриформенного модифицирования является низкосернистый расплав, для получения которого необходимо применение в шихте дорогостоящих рафинированных доменных чушковых чугунов, которые в настоящее время практически отсутствуют на украинском рынке металла.

Магний-кальциевые лигатуры обладают высокой рафинирующей способностью. Благодаря высокому содержанию кальция активно проходит десульфурация,

раскисление, деазотация, дегидритизация расплава и вводимый магний выполняет только функцию образования шаровидного графита в процессе кристаллизации чугуна. Полученные с применением модифицирования магний-кальциевой лигатурой отливки характеризуются повышенными пластическими свойствами, высокой гидроплотностью и открывается перспектива использования шихты с повышенным содержанием серы. Однако, магний-кальциевые лигатуры из-за их плохой растворимости практически не применяются для внутриформенного модифицирования.

Изучали эффективность двойного модифицирования: в ковше лигатурой ЖКМК-4Р и в литейной форме лигатурами FeSi75, FeSiBa20, FeSiCa30. После сфероидизирующего модифицирования в ковше лигатурой ЖКМК-4Р, расплав заливали в форму, где находился один из графитизирующих модификаторов, для получения ступенчатой пробы с толщиной ступеней 2,5; 5; 10 и 15 мм.

Данные о микроструктуре и твердости образцов из высокопрочного чугуна после ковшового модифицирования ЖКМК-4Р приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Микроструктура и твердость образцов из базового высокопрочного чугуна после ковшового сфероидизирующего модифицирования лигатурой ЖКМК-4Р

Толщина образца, мм	Микроструктура			Твердость, НВ
	Количество цементита, %	Количество включений графита, шт/мм ²	Количество феррита, %	
2,5	40	175	0	415
5	35	164	6	364
10	15	155	10	341
15	13	152	12	335

Экспериментальные данные по влиянию внутриформенного графитизирующего модифицирования лигатурами на структуру и твердость высокопрочного чугуна представлены в таблице 2.

Анализ полученных данных показывает, что преимущество модифицирования магний-кальциевой лигатурой, в совокупности с высоко-эффективным внутриформенным графитизирующим модифицированием, предотвращает образование отбела в тонкостенных отливках, повышает степень сфероидизации графита, в несколько раз увеличивает плотность распределения в структуре включений шаровидного графита.

Таблица 2 – Влияние лигатур и толщины образцов на структуру и твердость высокопрочного чугуна

Лигатуры	Толщина образца, мм	Микроструктура		Твердость, НВ
		Количество включений графита, шт/мм ²	Количество феррита, %	
FeSi75	2,5	749	80	214
	5	645	80	207
	10	341	70	204
	15	278	75	197
FeSiCa30	2,5	1176	15	250
	5	601	40	214
	10	498	75	200
	15	489	75	197
FeSiBa20	2,5	1078	75	225
	5	559	75	202
	10	368	85	200
	15	341	87	189

Это способствует уменьшению межкристаллитной ликвации, обеспечивает оптимальное соотношение показателей прочности и пластичности высокопрочного чугуна, улучшает обрабатываемость резанием и позволяет производить отливки с минимальной толщиной стенок 2,5-5,0 мм и требуемым уровнем свойств без проведения общепринятого в технологиях ковшового модифицирования энергоемкого высокотемпературного графитизирующего отжига для разложения структурно-свободных карбидов.

УДК 621

Г.С.Бойко, К.О. Костик

Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут», Харків

ЛАЗЕРНЕ ПОВЕРХНЕВЕ ЛЕГУВАННЯ СТАЛЕВИХ ВИРОБІВ

Можливості підвищення продуктивності праці, економії матеріалів і енергоресурсів, забезпечення гнучкості виробництв при випуску широкої номенклатури продукції малими серіями або навіть в одиничних екземплярах, розвитку ремонтно-відновлювальних потужностей на транспорті, в сільськогосподарському машинобу-

дуванні та ін. Роблять завдання впровадження лазерних технологій надзвичайно актуальною.

Аналітичний огляд джерел довів, що цей напрямок є дуже перспективним для поверхневого термічного зміцнення деталей машин, технологічного оснащення і металообробного інструменту. При цьому з'являється можливість цільових перевірок спрямованого формування мікроструктури поверхні виробів за рахунок орієнтованої кристалізації, формування певних структурних композицій, спрямованого армування, локальної хіміко-термічної обробки і, як наслідок, отримання нового підвищеного комплексу фізико-механічних, хімічних і експлуатаційних властивостей.[1] При використанні лазерної наплавки або лазерного легування вироби можуть виготовлятися з дешевих, широко використовуваних матеріалів, а дорогі і дефіцитні компоненти витрачаються тільки на створення зміцненого поверхневого шару в локальних ділянках виробів.

Встановлено, що в результаті легування істотно змінюються фізико-хімічні характеристики вихідного металу або сплаву і перш за все електронна структура [2]. Легуючі елементи впливають на температуру плавлення, характер дефектів кристалічної решітки, на формування зерен і тонкої кристалічної структури, область існування алотропічних модифікацій і кінетику фазових перетворень, на дислокаційну структуру, жаростійкість і корозійну стійкість, електричні, магнітні, механічні, дифузійні і багато інших властивостей сплавів.

Список літератури

1. Структурная модель проектирования упрочняющих технологических процессов, обеспечивающих заданное качество поверхностного слоя/Петренко К.П. // Упрочняющие технологии и покрытия – 2013. – № 1. – С. 7–9.
2. Перспективы использования лазерного излучения для повышения износостойкости коррозионно-стойких сталей/ Тарасова Т. В. // Металловедение и терм. обработка металлов. – 2010. – № 6. – С. 54–58.

УДК 669.162.275

В. Б. Бубликов, Ю. Д. Бачинский, С. Н. Медведь

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, г. Киев

Тел.: (+38044) 424-00-50, e-mail: *otdel.vch@gmail.com***ВЛИЯНИЕ КОМПЛЕКСНОГО МОДИФИКАТОРА ЖКМК-2Р НА ПОВЫШЕНИЕ
МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА**

Чугун выплавляли в дуговой электропечи ДС-0,5, сфероидизирующее модифицирование проводили комплексным магний-кальциевым модификатором ЖКМК-2Р, а графитизирующее – ферросилицием ФС75. С целью получения однородной структуры и требуемых механических свойств отливки подвергали ферритизирующему отжигу. Изучены выборки плавов на шихтах разного состава с использованием чушковых чугунов 2-х заводов-поставщиков и оборотного высокопрочного чугуна.

Для каждого состава шихты были определены средние значения механических свойств в литом и отожженном состояниях. В литом состоянии предел прочности при растяжении σ_B мало зависит от комбинаций применяемых чушковых чугунов и несколько увеличивается при вводе в состав шихты возврата. Максимальное значение твердости коррелируется с применением чушкового чугуна с повышенным до 0,65-0,70 % содержанием марганца. Наиболее контрастно влияние состава шихты проявляется на показателе относительного удлинения δ в литом состоянии, которое изменялось в пределах от 11 % до 13,3 %. Показатели ударной вязкости КС в литом состоянии для разных составов шихты отличаются незначительно.

В результате отжига значение σ_B для различных шихт нивелируется. Твердость НВ увеличивается с повышением марганца. Показатель δ в результате отжига возрастает и мало зависит от состава шихты. Наиболее значительно состав шихты влияет на КС отожженного высокопрочного чугуна, изменяя показатель в пределах до 30-40 %.

С целью исследования эффективности рафинирующего действия повышенного, по сравнению с регламентируемым технологическим процессом, расхода ЖКМК-2Р были проведены плавки на шихте, состоящей из передельного (50-80 %) и литейного (20-50 %) чушковых чугунов одного из заводов-поставщиков, при которой получены минимальные значения показателей δ и КС. Полученные при этом показатели механических свойств, приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Влияние расхода ЖКМК-2Р на механические свойства отожденного ВЧ

Расход ЖКМК-2Р, % от массы жидкого металла	Механические свойства			
	σ_B , МПа	НВ, од.	КС, Дж/см ²	δ , %
2,2	505	179	64,2	14,9
2,6	480	160	80,4	16,5
3,0	510	181	93,2	15,1

Особенно эффективно ЖКМК-2Р влияет на показатель КС. Так, при расходе 2,2 % ЖКМК-2Р, которого достаточно для требуемой степени сфероидизации графита, среднее значение КС составило 64,2 Дж/см². Обработка чугуна ЖКМК-2Р в количестве 2,6 % увеличивает КС на 25 %, а в количестве 3,0 % – на 45 %. В последнем случае среднее значение ударной вязкости КС высокопрочного чугуна достигает 93,2 Дж/см².

Таким образом, установлено, что в результате высокой рафинирующей способности комплексного модификатора ЖКМК-2Р, содержащего 12 % кальция, можно эффективно нейтрализовать отрицательное действие шихтовых материалов с плохой наследственностью и существенно улучшить показатели пластичности и ударной вязкости высокопрочного чугуна.

УДК 621.74:669.13-928

В. Б. Бубликов, Ю. Д. Бачинский, С. Н. Медведь

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, г. Киев

Тел.: (+38044) 424-00-50, e-mail: otdel.vch@gmail.com

АУСФЕРРИТНЫЙ ВЫСОКОПРОЧНЫЙ ЧУГУН

В этом году исполняется 70 лет высокопрочному чугуну с шаровидным графитом, открытому в 1948 г. К. Миллисом (США) и Г. Морроу (Великобритания). Этот прогрессивный литейный материал, благодаря оптимальному сочетанию высоких литейных, физико-механических, эксплуатационных свойств, а также экономичности производства, широко используется в современных машинах и оборудовании вместо стали, ковкого и серого чугунов, сплавов цветных металлов. Учитывая, что высокопрочный чугун является относительно «молодым» литейным материалом, потенци-

альные возможности повышения его свойств далеко не исчерпаны. В начале 1960 годов в Физико-технологическом институте металлов и сплавов НАН Украины под руководством Волощенко С.М. был создан по сути новый конструкционный высокопрочный чугун с аустенитно-ферритной матрицей, получаемый закалкой с изотермическим превращением. Прочностные показатели этого материала ($\sigma_B = 1000-1400$ МПа, $\sigma_{0,2} = 700-900$ МПа) были почти в два раза выше, по сравнению с достигаемыми в ранее разработанных высокопрочных чугунах. В 1965 г. впервые в мировой практике в Украине на моторостроительном заводе «Серп и молот» (г. Харьков) было создано производство из изотермически закаленного высокопрочного чугуна высоконагруженных коленчатых валов форсированных дизельных двигателей тракторов и комбайнов. Микроструктуру металлической матрицы, получаемой при изотермическом превращении, в соответствии с терминологией того времени, классифицировали как дисперсный игольчатый троостит. Затем длительное время, по аналогии со сталью, такую структуру называли бейнитной, а получаемый таким образом материал – бейнитным высокопрочным чугуном. Согласно современным научным представлениям структура матрицы изотермически закаленного высокопрочного чугуна состоит из аустенита и игольчатого феррита, и получила название «аусферрит» (ausferrite). При определенных условиях в результате значительного увеличения времени изотермической выдержки может также образовываться бейнит. В соответствии с международной терминологией процесс специальной термической обработки для получения аусферритного высокопрочного чугуна получил название аустемперинг (austempering).

Европейский стандарт EN1564:2011(E) «Аусферритный чугун с шаровидным графитом» и стандарт США ASTM A897/A897M-06 (2011) «Аустемперинговый чугун с шаровидным графитом» предусматривают, соответственно, получение 5 и 6 марок. При производстве отливок из аусферритного высокопрочного чугуна важным показателем является механическая обработка. Марки чугуна с $\sigma_B > 1100$ МПа и твердостью HB > 315 необходимо механически обрабатывать перед термической обработкой, а марки с $\sigma_B < 1050$ МПа и твердостью HB < 310 можно нормально механически обработать и после термической обработки. В последнее время разрабатываются новые марки аусферритных высокопрочных чугунов с повышенными показателями пластичности и хорошей обрабатываемостью резанием.

Механические и эксплуатационные свойства аусферритного высокопрочного чугуна определяются химическим составом, литой структурой, режимом закалки,

температурними і часовими умовами ізотермічного превращення. К мікроструктурі отливок пред'являються наступні вимоги: висока ступінь сфероїзації графіта ($ССГ > 90 \%$), відсутність структурно-вільних карбідів, постійність співвідношення перліт/ферит, мінімальна ликвація легируючих елементів. Змінюючи час ізотермічної витримки можна отримати різні марки аустенітної високопрочної чугуни з різними властивостями.

ФТИМС НАН України розробив легкообробуваний різанням конструкційний аустенітний високопрочний чугун з високими показателями механічних властивостей: $\sigma_B = 900-1000$ МПа, $\sigma_{0,2} = 650-730$ МПа, $\delta = 7-12 \%$, твердість 269-293 НВ, призначений для виробництва високонавантажених тонкостінних конструкцій.

УДК 669.162.275:546.3-19

В. Б. Бубликов, О. П. Нестерук, Н. П. Моїсєєва

Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, м. Київ

Тел.: (+38044) 424-00-50, e-mail: *otdel.vch@gmail.com*

ВПЛИВ ТИПОВИХ МОДИФІКУЮЧИХ СПЛАВІВ НА СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ І МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ВИСОКОМІЦНОГО ЧАВУНУ

Вимогою сьогодення є нові надміцні чавуни з кулястим графітом з підвищеними, порівняно зі стандартними марками, показниками міцності і пластичності. Основою отримання зазначеного поєднання міцності і пластичності є застосування вихідного розплаву необхідної якості, в першу чергу, за вмістом сірки (менше 0,015 %) і фосфору (менше 0,05 %), що вимагає відповідних шихтових матеріалів. Досліджували модифікатори типу ЖКМК-4Р, ФСМг7, (NiMgCe+ФС75). В залежності від складу досліджені модифікатори відрізняються по впливу на співвідношення перліт/ферит в металевій матриці. Збільшення кількості включень графіту корелюється із зменшенням частки перліту у металевій основі. З досліджених комплексних модифікаторів найбільш ефективним десульфуратором є ЖКМК-4Р, який відрізняється високим вмістом кальцію. За здатністю сфероїдизувати графіт кращим серед комплексних модифікаторів виявився ЖКМК-4Р. Крім графітізації чавуну і феритизації металевої основи, кальцій сприяє очищенню, рафінуванню розплаву. Максимальний рівень меха-

нічних властивостей для кожного з модифікаторів досягається при ССГ більше 85 %, максимальний опір розриву досягається при модифікуванні ЖКМК-4Р – $\sigma_B = 550 \dots 700$ МПа, кращі показники відносного подовження досягаються при модифікуванні ФСМг7 і ЖКМК-4Р – $\delta = 10 \dots 12$ %.

Встановлено, що зі збільшенням витрати комплексних модифікаторів понад технологічний мінімум, необхідний для отримання кулястого графіту, підвищується схильність до утворення вибілу, зменшується кількість включень графіту і збільшується кількість перліту. При цьому відбувається підвищення показників міцності і зниження пластичності високоміцного чавуну. Експериментально встановлено, що шляхом зміни складу комплексних модифікаторів та їх витрати можна у певних межах впливати на структуроутворення з метою підвищення рівня механічних властивостей високоміцного чавуну.

УДК 621.745:669.162.275

В. Б. Бубликов, О. П. Нестерук, Н. П. Моїсєєва

Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, м. Київ

Тел.: (+38044) 424-00-50, e-mail: otdel.vch@gmail.com

ВПЛИВ ШИХТОВИХ МАТЕРІАЛІВ НА ФОРМУВАННЯ ФАЗОВО-СТРУКТУРНОГО СТАНУ ТОНКОСТІННИХ ВИЛИВКІВ З ВИСОКОМІЦНОГО ЧАВУНУ

Розробка і впровадження нових ефективних технологій одержання високоміцних чавунів створює передумови розширення їх застосування. А вирішення проблем існуючих технологій – одержання тонкостінних виливків із високоміцного чавуну без структурно-вільних карбідів – вимога сьогодення для виробництва конкурентоздатної продукції. Однією з умов одночасного отримання підвищених показників міцності та пластичності є застосування шихтових матеріалів високої якості.

Застосування рафінованих магнієм чавунів марок ЛР, свідчить, що порівняно з марками доменних ливарних та передільних чавунів звичайної якості вони підвищують ефект модифікуючого впливу на структуроутворення та властивості високоміцного чавуну, що сприяє підвищенню ступеня сфероїдизації графіту, зниженню схильності тонкостінних виливків до вибілу, зменшенню усадки, збільшенню частки фериту в металевій основі, підвищенню пластичності, поліпшенню оброблюваності різанням

на верстатах-автоматах. Високоміцний чавун, виплавлений з електротехнічної сталі Э12 і графітової стружки, відрізняється від виплавленого з переробного чавуну ПВКЗ підвищеною на 12-14 % межею міцності та зниженим на 2-5 % відносним подовженням, незважаючи на практично однаковий вміст елементів, які сприяють утворенню перліту (марганцю, хрому, нікелю). Вочевидь це результат перлітостабілізуючої дії азоту, вміст якого в плавці на шихті зі сталі Э12 та графітової стружки був в 3 рази більшим, ніж в плавці на шихті з чавуну ПВКЗ (відповідно 0,0057% і 0,0017% азоту).

Найбільш сприятливе поєднання властивостей міцності та пластичності високоміцного чавуну забезпечується у випадках застосування в складі шихти відходів сталей 11ЮА, 08КП, електротехнічної та деяких інших. Застосування в шихті сталевих брухту і відходів рядових марок сталі, призводить до зниження стабільності результатів модифікування, збільшення схильності тонкостінних виливків до вибілу, підвищення міцності та твердості, зменшення відносного подовження високоміцного чавуну. Це є наслідком як високого вмісту сірки (0,04 %) у рядових марках сталі, так і великої ймовірності переходу зі сталевих брухту в чавун таких небажаних елементів, як Pb, Bi, V, Te, Zn, Al, P, Cr, V та ін.

Ступінь сфероїдизації графіту ССГ у виливках клиновидних проб був в межах 90-95 %. При такому високому рівні ССГ вплив форми графіту на механічні властивості незначний і знаходиться в межах природного розсіювання результатів випробувань. Вплив модифікаторів на механічні властивості високоміцного чавуну проявлявся через відмінності в кількості перліту, який утворився, його дисперсності, а також через особливості структури, яка сформувалася в міжзеренному просторі при кристалізації останніх порцій розплаву, збагачених ліквуючими елементами (марганцем, хромом та ін.). За ступенем впливу на збільшення кількості перліту в структурі металевої основи досліджувані модифікатори ФСМг7, ЖКМК-4Р, (NiMgCe+ФС75) розташовуються в такій послідовності: максимальне відносне подовження отримано при модифікуванні ФСМг7, а максимальна міцність і мінімальне відносне подовження – при модифікуванні NiMgCe лігатурою та феросиліцієм ФС75. Модифікатор ЖКМК-4Р займає проміжне положення.

УДК 669.131.7

В. Б. Бубликов, А. А. Ясинский, Е. А. Ясинская

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, г. Киев

Тел.: (+38044) 424-00-50, e-mail: alexyasinskyi@gmail.com

**ВЛИЯНИЕ ЛЕГИРОВАНИЯ И ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРУ И
МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА**

В условиях опытно-промышленного производства было определено влияние легирования медью и никелем и термической обработки на структуру и механические свойства высокопрочного чугуна, полученного внутриформенным модифицированием. Микроструктура отливок из нелегированного высокопрочного чугуна состояла из включений шаровидного графита диаметром 40...45 мкм с плотностью распределения 370 шт/мм² и ферритной металлической основы (95 % феррита). Образцы из нелегированного высокопрочного чугуна в литом состоянии имели следующие механические свойства: временное сопротивление разрыву $\sigma_B = 520$ МПа; условный предел текучести $\sigma_{0,2} = 360$ МПа; твердость HB = 1700 МПа; относительное удлинение $\delta = 14$ %; ударную вязкость КС = 90 Дж/см².

В результате легирования 1,5 % меди микроструктура клиновидных проб изменилась следующим образом: диаметр включений шаровидного графита уменьшился до 30...35 мкм, плотность распределения шаровидного графита снизилась до 340 шт/мм², количество перлита в металлической основе увеличилось до 45...50 %. В литом состоянии высокопрочный чугун, легированный 1,5 % меди, имел следующие показатели механических свойств: временное сопротивление разрыву σ_B – 640 МПа; условный предел текучести $\sigma_{0,2}$ – 480 МПа; твердость HB – 1900 МПа; относительное удлинение δ – 4 %; ударная вязкость КС – 15 Дж/см². При легировании 1,5 % никеля количество перлита в металлической основе увеличилось до 15 %. Это обеспечило получение ферритно-перлитного высокопрочного чугуна с временным сопротивлением разрыву $\sigma_B > 550$ МПа, условным пределом текучести $\sigma_{0,2} > 450$ МПа, относительным удлинением $\delta > 17$ %, твердостью HB = 2070 МПа.

Для получения ферритной металлической основы проводили ступенчатый графитизирующий отжиг клиновидной пробы по следующему режиму: нагрев в печи до 880 °С, выдержка два часа, охлаждение с печью до 750 °С, выдержка один час, охлаждение с печью до 650 °С, выдержка один час, охлаждение на воздухе. В ре-

зультате отжига количество феррита в легированном медью высокопрочном чугуна увеличилось до 95 %, то есть до уровня, характерного для базового нелегированного высокопрочного чугуна в литом состоянии. По сравнению с литым состоянием высокопрочного чугуна, содержащего 1,5 % меди, после графитизирующего отжига наблюдается уменьшение временного сопротивления разрыву ($\sigma_B > 550$ МПа), снижается твердость и многократно повышаются относительное удлинение ($\delta = 22$ %) и ударная вязкость ($KC = 105$ Дж/см²). В результате отжига количество феррита в легированном никелем высокопрочном чугуна увеличилось с 85 до 100 %. По сравнению с литым состоянием высокопрочного чугуна, содержащего 1,5 % никеля, после графитизирующего отжига наблюдается незначительное уменьшение прочностных показателей ($\sigma_B > 530$ МПа, $\sigma_{0,2} > 430$ МПа), снижается твердость ($HB > 1900$ МПа) и повышается относительное удлинение ($\delta > 17$ %).

Также изучено влияние нормализации на механические свойства легированного медью или никелем высокопрочного чугуна, полученного модифицированием в литейной форме. Нормализацию проводили по режиму: нагрев в печи до 880 °С, выдержка два часа, охлаждение на воздухе. В результате нормализации легированного медью высокопрочного чугуна количество перлита в металлической основе повысилось до 96 %, что обеспечило получение следующих механических свойств: $\sigma_B > 800$ МПа, $\sigma_{0,2} > 600$ МПа при $\delta > 2,6$ %, $HB = 2550$ МПа. У легированного никелем высокопрочного чугуна количество перлита в металлической основе повысилось до 45 %, что обеспечило получение следующих механических свойств: $\sigma_B > 700$ МПа, $\sigma_{0,2} > 550$ МПа, $\delta > 3$ %, твердости $HB = 2530$ МПа.

Таким образом, установлены особенности влияния легирования никелем и медью на структурообразование отливок из высокопрочного чугуна, полученного внутриформенным модифицированием. Показано, что эффективным средством повышения прочностных свойств легированного высокопрочного чугуна является нормализация.

УДК 669.131.7

В. Б. Бубликов, А. А. Ясинский, Л. А. Зеленая, Е. А. Ясинская

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, г. Киев

Тел.: (+38044) 424-00-50, e-mail: alexyasinskyi@gmail.com

УГЛЕРОД, КРЕМНИЙ И МАРГАНЕЦ В ВЫСОКОПРОЧНОМ ЧУГУНЕ

Для получения требуемых механических свойств высокопрочный чугун (ВЧ) должен иметь необходимые и контролируемые химический состав и структуру. На основе анализа влияния основных элементов, на изменение физико-механических свойств и микроструктуры выявлены допустимые пределы изменения содержания элементов и их соотношение, влияющие на условия получения в отливках ВЧ заданного класса (перлитно-ферритного, ферритно-перлитного, ферритного, перлитного).

Углерод в ВЧ может быть в виде графита, входить в состав цементита (до 1,5 %) или быть в растворе γ - и α -железа. Однако, в отличие от серого чугуна, низкое содержание углерода не рекомендуется, так как наиболее высокие механические свойства высокопрочного чугуна в отливках получаются при его повышенном содержании. Кроме того, при повышенном содержании углерода чугун обладает лучшими литейными свойствами. Оптимальное содержание углерода находится в пределах 3,2...3,8 % и корректируется в зависимости от содержания Si, технологических особенностей производства и назначения отливок из ВЧ.

Кремний аналогично углероду оказывает графитизирующее действие. В железо-углеродистых сплавах можно получить шаровидные включения графита при любых содержаниях кремния. Если оптимальное содержание кремния в высокопрочном чугуне регламентируется требованиями по структуре и механическим свойствам, то его содержание в расплаве перед сфероидизирующим модифицированием зависит от технологии получения отливок и состава модификатора. Учитывая это, содержание кремния в исходном расплаве (при применении модификаторов типа ФСМг7) должно находиться в пределах 1,4...1,8 % для ферритного, 1,8...2,1 % для феррито-перлитного и 1,6...1,9 % для перлитного ВЧ. Исследование влияния кремния на механические свойства ВЧ ферритного класса после двухстадийного отжига показали, что изменение содержания кремния в ВЧ с 2,5 % до 2,8 % практически не влияет на механические свойства ВЧ. При увеличении содержания кремния свыше 3,0 % наблюдается повышение предела текучести. При этом сохраняются довольно высо-

кие показатели относительного удлинения, но значительно уменьшается ударная вязкость ферритного ВЧ. Максимальные значения показателя ударной вязкости при одинаковом содержании С, Мп, Cr, Р получены при 2,3...2,8 % Si.

Марганец образует непрерывный ряд жидких и твердых растворов с железом и твердые растворы с углеродом, способствуя тем самым получению более устойчивых карбидов железа. На форму графита в чугунах марганец не влияет. Вследствие торможения процессов графитизации, снижения температуры и сужения интервала эвтектоидного превращения Мп способствует перлитизации металлической основы. Обычно содержание марганца находится в пределах 0,2...0,5 %, в ВЧ перлитного класса содержание Мп может достигать 1,0...1,3 %. Однако марганец значительно снижает пластические свойства высокопрочного чугуна в том числе и подвергнутого графитизирующему отжигу.

Применение шихтовых материалов с низким содержанием Мп способствует получению ВЧ ферритного класса. Использование исходных материалов, содержащих менее 0,5 % Мп (оптимально 0,2 %), гарантирует получение высоких пластических свойств в отливках из ВЧ без применения ферритизирующего отжига.

УДК 621.74.047

В. І. Вейс, В. М. Щеглов

ФТІМС НАН України, м. Київ

0632684614, e-mail: nikusik123@yandex.ru

ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ВЕЛИКИХ КОВАЛЬСЬКИХ ЗЛИВКІВ

У зв'язку із зростаючим попитом на великі зливки, особливо від енергетичної та суднобудівельної промисловостей, спостерігається тенденція до виробництва великих зливків понад 500т, вироби з яких в основному використовуються для експлуатації за умов значних навантажень.

Оскільки, великі виливки в основному використовуються для виготовлення високовартісних і відповідальних виробів, висуваються жорсткі вимоги до їх якості. Основними проблемами при цьому є: оптимізація металургійного процесу; геометричні параметри вилівка; керування складом, температурою та швидкістю лиття; забезпе-

чення хімічної і структурної однорідності металу; мінімізація неметалевих включень, шкідливих домішок тощо.

Існуючі технологічні засоби зовнішнього впливу на розплав, що кристалізується, не завжди забезпечують необхідний рівень якості сталевих зливків [1]. Досить ефективними є вібраційні методи, але їх застосування для великих мас металу не-доцільно. Це пов'язано з недосконалістю конструкторських рішень і великими фінансовими витратами для проведення такої обробки. Тому розроблення і впровадження нових вібраційних технологій для покращення якості виливків є актуальною пробле-мою.

Виходячи з цього досліджено можливість введення низькочастотних коливань безпосередньо до розплаву, що кристалізується, за допомогою зануреного у надлив-ну частину зливка масою 11т активатора вібрації з вогнетривкого матеріалу. Віброо-бробку здійснювали протягом 15 хв при частоті коливань 50 Гц і амплітуді 2-3мм. За рахунок віброобробки приблизно в 2 рази розширюється і досягає половини висоти зливка зона конуса осадження, в якому відсутня осьова V-подібна ліквация. Також встановлений більш рівномірний розподіл таких ліквуючих елементів як вуглець, сіра та фосфор.

Встановлено, що в зоні дії активатора вібрації, утворюється велика кількість зародків кристалізації, що розповсюджуються на сусідні об'єми розплаву і під дією гравітації опускаються в донну частину зливка. Відбувається об'ємна кристалізація зливка, суттєво зростає швидкість кристалізації зливка, час його повного тверднення скорочується на 45%.

Технологія ендогенної віброобробки розплаву, що кристалізується є ефектив-ним рішенням для підвищення якості зливків великих мас.

Список літератури

1. *Щеглов В. М.* До проблеми якості великих ковальських зливків // *Мета-лознавство та обробка металів*. 2016. – № 3. – С. 49 – 52.

Верховлюк А.М., Щерецький О.А., Сергієнко Р.А., Каніболоцький Д.С., Афанасьєв М.В.

Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, Київ

e-mail: anatoliiverkhovliuk@gmail.com, vam@ptima.kiev.ua

ОСОБЛИВОСТІ ВЗАЄМОДІЇ НАНОПОРОШКІВ З МЕТАЛІЧНИМИ РОЗПЛАВАМИ

Ультрадисперсні матеріали мають активну поверхню, що приводить до зміни макроструктури самих порошків: агломерації, злежування та інш. В зв'язку з цим при виробництві ультрадисперсних порошків постійно розробляють та впроваджують нові технології їх одержання та обробки, які засновані на останніх досягненнях науки та техніки. Відомо, що нано- або ультрадисперсна структура формується в результаті таких процесів, як кристалізація, рекристалізація, фазові перетворення, високі навантаження, інтенсивна пластична деформація, повна або часткова кристалізація аморфних матеріалів.

Добавки наночастинок у рідкий метал будуть давати максимальний модифікуючий ефект тільки в тому випадку, коли вони будуть змочуватися розплавом, не коагулювати і не розчинятися в ньому. Введення наночастинок у розплав і їх рівномірний розподіл в об'ємі вирішується переважно за рахунок застосування механічного і магнітогідродинамічного замішування частинок [1,2]. При цьому нанопорошки можуть вводитися інжекцією в струмінь нейтрального газу, у вигляді таблеток та витягнутих пресованих композицій (брикетів, порошкового дроту, прутків) [3,4]. Ефективним також є спосіб введення наночастинок у розплав у вигляді нанорозмірних порошкових композиційних матеріалів, які одержуються методом механолегування [5].

Для досліджень були підготовлені лігатури-модифікатори – механічна порошкова суміш із наночастинок (SiC, TiC, MoC, WC, ZrC, SiO₂, TiO₂, TiN, TiB₂) та мікрочастинок металу (алюміній, мідь, заліза). Ця суміш потім вводилася в розплав (на основі алюмінію, міді та чавуну) у вигляді пресованих таблеток, стовпчиків, екструдованих прутків, а також суміш завертали в тонку алюмінієву фольгу або робили конверти із алюмінієвого листа.

В результаті проведених робіт встановлено, що усі досліджені наночастинок незалежно від їх хімічного складу та кристалічної будови мають близький модифікуючий ефект.

На нашу думку це пов'язано з поверхневими властивостями рідкого сплаву та наночастинок. В свою чергу, на поверхневі властивості наночастинок впливає їх електричний заряд. В результаті контакту наночастинок з розплавом виникає різниця потенціалів. При цьому формуються два шари електричних зарядів протилежного знаку, які розміщені з різних сторін міжфазної границі. Електроконтактна взаємодія наночастинок з розплавом приводить до їх змочування. Тіллер [6] оцінив електростатичний внесок в параметри змочування твердої частинки розплавом і показав, що границя розділу розміщається в деякому ефективному конденсаторі. Питому енергію цього конденсатора він розглядав як негативний внесок у поверхневу енергію. Коли радіус частинки стає менше дебаївського радіусу її матеріалу, тоді різниця потенціалів між розплавом та частинкою переважно визначатиметься властивістю розплаву. При цьому поверхнева густина заряду та електростатична складова поверхневої енергії наночастинок за абсолютною величиною збільшуються відносно твердої частинки великого розміру. Таким чином адгезія між нанорозмірною частинкою та розплавом буде кращою, ніж для макрочастинки, і переважно визначатиметься властивостями розплаву та не залежатиме від властивостей матеріалу наночастинок.

Даний ефект може і привести до змочування наночастинок розплавами та їх рівномірного розподілу в об'ємі.

Література

1. Калиниченко А. С., Слуцкий А. Г., Шейнерт В. А., Зык Н. В., Бородуля В. А., Рабинович О. С. Перспективы использования наноразмерных порошков для получения модифицирующих лигатур // *Литье и металлургия* . – 2015. – № 1 (78). – С. 65-73.
2. Калиниченко А. С., Слуцкий А. Г., Шейнерт В. А. Использование модифицирующей лигатуры, содержащей нанодисперсные порошки активных элементов при получении высокопрочного чугуна с шаровидным графитом // *Литье и металлургия* . – 2015. – № 3 (80). – С. 101–106.
3. Kaldre I., Bojarevičs A., Grants I., Beinerts T., Kalvāns M., Milgrāvis M., Gerbeth G. Nanoparticle dispersion in liquid metals by electromagnetically induced acoustic cavitation // *Acta Materialia*. – 2016. – V. 118. – P. 253-259.
4. Косников Г. А. Жидкофазные технологии получения заготовок из алюмоматричных нанокомпозитов (обзор) // *Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies*. – 2014. –Т. 7, № 4. – С. 409-415.

5. Косников Г. А., Баранов В. А., Петрович С. Ю., Калмыков А. В. Литейные наноструктурные композиционные алюмоматричные сплавы // Литейное производство. – 2012. – № 2. – С. 4 – 9.

6. Tiller W.A., Takanashi T.R. The electrostatic contribution in heterogeneous nucleation theory: pure liquids // Acta Metallurgica. – 1969. – V. 17, № 4. – P. 483-496.

УДК 621.74.

О. И. Воронова, Т. В. Лысенко, И. В. Прокопович, В. В. Ясюков

Одесский Национальный Политехнический Университет, Одесса

ПРОБЛЕМЫ СТОЙКОСТИ ОСНАСТКИ ЛПД

Пресс-формы литья под давлением (ЛПД) выходят из строя из-за термической усталости, необратимого формоизменения и износа. Сопротивление формообразующих материалов этим явлениям в значительной степени определяется уровнем механических свойств при рабочей температуре. Повышение механических свойств приводит к снижению температурных напряжений и, как следствие, увеличению стойкости оснастки. С повышением температуры плавления материалов отливок растет температура контакта, снижаются запасы прочности и пластичности, термостойкость пресс-форм, выраженная в циклах теплосмен (ц.т.), падает.

Для формообразующих деталей пресс-форм используют, как правило, хромовольфрамованадиевые и хромомолибденованадиевые стали. Сталь марки 30X2B8Ф применяется для вставок при литье латуни и бронзы; для алюминиевых и магниевых сплавов – стали типа 40X5МФС либо 30X2B8Ф. При этом основным критерием является стойкость пресс-форм.

Между тем, для литья крупных отливок из медных и алюминиевых сплавов необходимо использование новых более стойких материалов. Это особенно актуально для получения отливок из высокотемпературных сплавов на основе меди и железа. Следует отметить использование сплавов на основе тугоплавких металлов молибдена, вольфрама, ниобия, сталей мартенситного и аустенитного класса и др. Для примера: стержни из стали 30X2B8Ф при литье алюминия после 500 ц.т. требуют ремонта, а стержни из молибдена после 8000 ц.т. пригодны для дальнейшей работы [1]. Объясняется это отсутствием растворимости алюминия в молибдене, по-

этому эффекта приваривания и налипания не происходит. Применяют также элементы пресс-форм из мартенситно-старееющих сплавов, которые удовлетворяют требованиям термической усталости, термостойкости, необратимым формоизменениям, формостойкости, износостойкости.

Это сплавы интерметаллидного упрочнения, в которых при закалке получается практически безуглеродистый мартенсит, а затем при отпуске (старении) происходит выделение интерметаллидных фаз типа $NiTi$ или Ni_3Ti . После окончательной термообработки прочностные свойства резко повышаются: $\sigma_B=2200$ Мпа, $\delta=12\%$, $\psi=55\%$.

С этой же целью используют технологию получения литых композиционных вставок пресс-форм [2], в основу которой положено литье в керамизированные формы по постоянным моделям. Вставки получали плазменным напылением смеси порошков металла, соответствующей химическому составу мартенситно-старееющей стали. При заливке матричного металла (чугуна) происходило пропитывание напыленной оболочки с формированием контактной зоны. Литые вставки обрабатывались только по плоскости смыкания. Рабочая полость вставки представляет собой однородную поверхность 6-7 класса ГОСТ 2789-95. Количество ц.т. до появления сетки разгара при литье латуни ЛС-59 возросло на 50%.

Список литературы

1. Горюнов И.И. Пресс-формы для литья под давлением./ И.И.Горюнов – Л-д: Машиностроение, 1973, - 265 с.
2. Ясюков В.В., Солоненко Л.И., Цыбенко О.В. Композиционные вставки пресс-форм литья под давлением // Металл и литье Украины. – 2015. - №9, - с.26-29.

УДК: 621.762.07

Глотка А.А., Овчинников А.В.

Запорожский национальный технический университет, г. Запорожье

**ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ЖАРОПРОЧНЫХ ПОРОШКОВ
В АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ**

Среди технологий, интенсивно развивающихся в настоящее время, особое место занимают аддитивные. Они позволяют формировать готовые изделия без применения традиционных способов производства. Внедрение этих технологий особенно актуально для авиакосмической и авиадвигателестроительной отраслей.

Отдельным вопросом при внедрении аддитивных технологий является выбор сырья, который не так уж и велик. В настоящее время не существует общих требований к металлопорошковым композициям. Разные компании-производители АМ-машин (от Additive Manufacturing – «аддитивное производство») предписывают работу с определенным перечнем материалов, обычно поставляемых самой этой компанией. В разных машинах используются порошки различного фракционного состава, которые классифицируют по условному диаметру частиц, подразделяя их на нанодисперсные с диаметром частиц менее 0,1 мкм, ультрадисперсные с диаметром 0,1–1,0 мкм, высокодисперсные от 1,0 до 10 мкм, мелкие от 10 до 40 мкм, средние от 40 до 250 мкм и крупные от 250 до 1000 мкм. Фракционный состав влияет на качество поверхности готовой детали. В тоже время, чем больше размер порошка, тем больше его удельная поверхность и насыщенность примесями. Исходя из этого нужно подбирать тот или иной фракционный состав порошка для определенного вида изделий.

Также требованием к порошкам для АМ-машин является сферическая форма частиц с фракцией от 40 до 100 мкм. Эти порошки следует отнести к порошкам мелкой и средней фракции. Такая форма и фракционный состав обеспечивают хорошую текучесть порошков, что облегчает прохождение порошка по технологическим каналам. Существуют также порошки несферической (угловатой) формы, которые имеют невысокий показатель текучести, что ограничивает их применение в данной технологии.

Важным требованием к порошкам является химический состав и микроструктура, поскольку готовое изделие будет наследовать эти характеристики, так как по-

слоистое нанесение материала выполняется в масштабах, соизмеримых с размерами частиц материала.

Наряду с произведенным за рубежом порошком, который изготавливается центробежным распылением, есть возможность применить порошковые материалы отечественного производства. В частности, на ГП «УкрНИИСпецСталь» производится широкий спектр порошковых материалов разного химического и фракционного состава методом газового распыления. Преимуществом данного метода является невысокая стоимость в сочетании с качеством. Однако необходимо провести ряд исследований, направленных на оптимизацию соответствующих порошков под использование для АМ-машин. Основными из них являются химический, фракционный составы, текучесть, форма частичек и микроструктура материала.

Цель работы - определить возможность применения отечественных порошков жаропрочных материалов в аддитивных технологических процессах.

Для проведения исследования был выбран порошок жаропрочного сплава ЭП741(ХН51КВМТЮБ), который применяется для производства дисков ГТД. Порошок по химическому составу соответствует ГОСТ 52802-2007 с размером фракции от 160 до 50 мкм и имеет сферическую форму. Такая фракционность неприемлема для АМ-машин, поэтому в дальнейшем необходимо произвести разделение порошка на отдельные фракции.

Текучесть порошка измеряли в соответствии с ГОСТ 20899-98, для исследуемого порошка она составила 32 секунды на 50 грамм навески, что соответствует нормам, предъявляемым к жаропрочным материалам. Поверхность порошка имеет дендритное строение, типичное для литых материалов. Как правило микроструктура сплавов данного состава состоит из γ -твердого раствора на основе никеля, интерметаллида $Ni_3(Ti,Al)$ и карбидов типа MC и $M_{23}C_6$.

Таким образом, данный материал может применяться для АМ-технологий после разделения на фракции, что открывает дополнительные возможности для отечественного авиадвигателестроения.

УДК 621.746.6:331.6:658.526

С.В. Гнилокурченко, Е.П. Белоусова

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, г. Киев

Тел.: (+38044) 424-12-50, e-mail: *expo@ptima.kiev.ua***ДИНАМИКА НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ЛИТЕЙНОЙ ОТРАСЛИ**

Развитие литейного производства Украины в последние годы характеризуется значительным спадом, что коррелирует и с нисходящей динамикой выпуска продукции машиностроения [1].

Тем не менее, рынок литья в нашей стране имеет большие перспективы, поскольку он предлагает продукцию с высокой добавочно стоимостью [2]. Для сохранения отрасли и постепенного наращивания производства отливок должны удовлетворяться не только внутренние потребности, но и развиваться ориентация на европейский рынок, особенно в длительной перспективе.

Поиску причин такого положения посвящены многие исследования и совещания как ученых, представителей вузовской науки так и производителей [3].

Представляется интересным провести анализ научных докладов на металлургических, литейных и машиностроительных конференциях с целью определения эффективности использования научных знаний, разработанных технологий промышленностью. Косвенным показателем такой эффективности может служить доля совместных докладов исследователей с производителями и динамика изменения этого соотношения по годам.

На данном этапе работы проанализированы материалы основных систематических конференций за направлениями выше, с 2012 по 2017 год, которые отражены на графике (Рис.) и проводились такими организациями: 1-6 - НТУУ «КПИ им. Сикорского» (г. Киев) [4]; 7-9 – ДГМА (г. Краматорск) [5]; 10-15 – ФТИМС НАН Украины и ВУЗами Украины совместно с Запорожской ТТП [6].

Таким образом, обработан значительный массив данных – 15 научно-практических конференций в трех городах на протяжении 6 лет. Доклады были классифицированы по учреждениям – от предприятий, ВУЗов и НИИ (академические институты) и на рисунке отражено их процентное содержание в каждой конференции.

Из приведенных данных очевидно, что доля докладов от ВУЗов и НИИ очень значительна и достигает во многих случаях 95-98%. Это свидетельствует об актив-

ности ученых, большом количестве прикладных исследований и разработке наукоемких технологий для нужд промышленности. При этом доля докладов от ВУЗов составляет от 50% до 90% в случае проведения конференций на базе учебных институтов (1-9, рис.) и сравнима с долей НИИ (40-50%) при проведении конференций в развитом промышленном районе Запорожья (10-15, рис.).

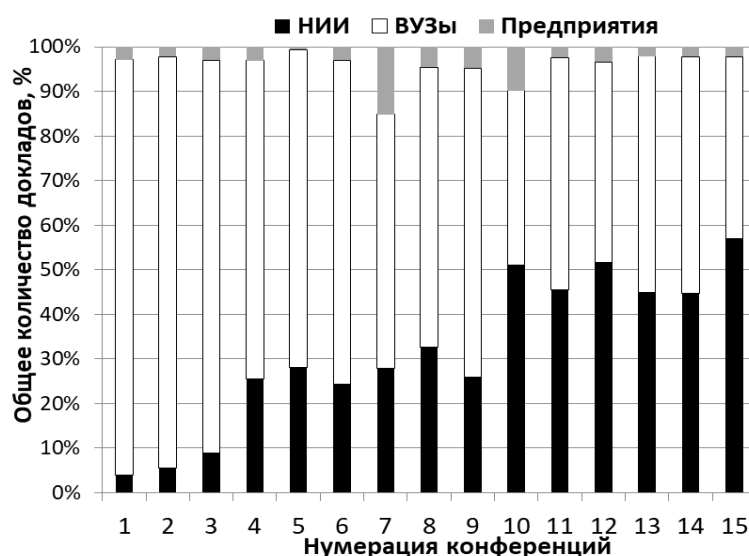


Рисунок - Распределение докладов на профильных конференциях Украины :

1–6 – в НТУУ «КПИ им. Сикорского» (г. Киев) с 2012 по 2017 гг., соответственно; 7–9 – в ДГМА (г. Краматорск) в 2013, 2015, 2017 гг., соответственно; 10–15 – «Литье. Металлургия» (г. Запорожье) с 2012 по 2017 гг.

Следует отметить очень низкий показатель докладов от предприятий либо совместно с учеными (в среднем 4%). Это является индикатором крайне незначительного вовлечения ученых в исследования с предприятиями, что в конечном итоге приводит к не высокому внедрению научно-технических разработок в производство, а с другой стороны – к понижению уровня показателей развития литейной отрасли. Такое положение губительно не только для прикладной науки в НИИ и ВУЗах но и для самих предприятий, на которых используются устаревшие технологии и оборудование, что приводит в итоге к невысокому качеству и низкой конкурентоспособности продукции.

Востребованность разработок ученых может повыситься за счет активного маркетинга наукоемких технологий на промышленных выставках, конференциях,

круглых столах с представителями бизнеса и предприятий с использованием поддержки Ассоциации литейщиков Украины, стремлении самих предприятий к совместному решению производственных задач с представителями науки.

Развитие отраженных выше аналитических исследований будет продолжено для определения наиболее важных и перспективных для производства направлений, предлагаемых отечественными учеными.

Модернизация машиностроения и литейного производства, внедрение конкурентоспособных научно-технических разработок академической и вузовской науки в промышленность, сохранение профильных специальностей в вузах и подготовка квалифицированных кадров с использованием существующего научного потенциала – необходимые шаги для преодоления текущего положения отрасли.

Список литературы

1. Гнатуш В. А., Дорошенко В. С., Тенденції світового та українського ринків виливків і розвитку технології лиття в дзеркалі 2016 р. // Металл и литье Украины. - 2018. - №1-2, С. 29-34.
2. Интервью с Александром Каленковым // Металл и литье Украины. - 2018. - №1-2, С. 50-53.
3. Совецание литейщиков Украины на XVI Международном промышленном форуме. // Металл и литье Украины. - 2017. - №11-12, С.
4. Матеріали Міжнародних науково-технічних конференцій «Нові матеріали і технології в машинобудуванні», НТУУ «КПІ ім. Сікорського». - м. Київ, 2012 – 2017 рр.
5. Матеріали Міжнародних науково-технічних конференцій «Перспективні технології, матеріали та обладнання у ливарному виробництві», м. Краматорськ : ДДМА. - 2013, 2015, 2017 рр.
6. Матеріали Міжнародних науково-практичних конференцій «Литво. Металургія». ТТП Запоріжжя. – м. Запоріжжя. – 2012 – 2017 рр.

УДК 347.77.012.3

С. В. Гнилокурєнко, О. В. Михнян

Фізико-технологічний інститут металів та сплавів

НАН України, Київ

Тел.: (+38044) 424-12-50, e-mail: expo@ptima.kiev.ua

ПАТЕНТНІ ДОСЛІДЖЕННЯ У ФТІМС НАН УКРАЇНИ

Системний науковий аналіз властивостей технологій та їх складових, які впливають з їх правової охорони, патентної та ліцензійної ситуації, що склалася щодо них, характеру виробництва продукції є основним змістом патентно-кон'юнктурних досліджень [1].

Такі дослідження активно проводяться у Фізико-технологічному інституті металів та сплавів НАН України (ФТІМС НАН України) підрозділом трансферу технологій та патентування спільно з виконавцями науково-дослідних робіт. Вони є правовим підґрунтям при створенні та розробці технологій та використовуються для визначення доцільності набуття та/або передачі прав на них при трансфері технологій. Така діяльність є наразі дуже актуальною з огляду забезпечення правового захисту інтелектуальної власності інституту та для розвитку інноваційної діяльності, спрямованої на розробку та комерціалізацію наукомістких розробок. Результати роботи, зокрема у вигляді звітів про патентно-кон'юнктурні дослідження, використовуються при розробці техніко-економічних обґрунтувань, технічних завдань, стандартів, при виконанні договірної тематики та реалізації зовнішньоекономічної діяльності інституту.

Науковці інституту проводять дослідження і виконують науково-дослідні роботи в категоріях фундаментальної і прикладної науки. Основними об'єктами винаходів переважно є нові пристрої, матеріали і технологічні процеси (способи) в металургії та ливарному виробництві. Винахідницька діяльність супроводжується науково-організаційною роботою, пов'язаною з використанням науково-інформаційних, науково-технічних ресурсів, засобів наукової комунікації, реалізації інноваційних заходів. Так, фахівці відділу трансферу технологій та патентування сприяють виявленню об'єктів промислової власності, що підлягають правовій охороні, надають рекомендації щодо доцільності їх патентування, обробляють матеріали для одержання охоронних документів. Слід зазначити, що на переважну більшість заявок інституту отримуються позитивні рішення про видачу патентів.

Наразі ФТІМС НАН України є власником більше ніж 250 патентів України на винаходи та корисні моделі. Тривалий час він утримує позиції серед лідерів за кількістю поданих заявок серед установ НАН України.

За даними Державної служби інтелектуальної власності України та Державного підприємства «Інститут промислової власності» в «Переліку наукових організацій галузі «Наука» з найвищою винахідницькою активністю (кількість заявок на винаходи та корисні моделі, поданих за 1-е півріччя 2010-2014 років) ФТІМС НАН України посідав третє місце серед вітчизняних наукових установ та перше – серед установ НАН України [2].

Інститут неодноразово був відзначений за досягнення високих показників у винахідницькій роботі, створенні, охороні та використанні ОІВ за підсумками конкурсу установ НАН України (Постанови Президії НАН України № 119 від 07.07 2010 р., № 99 від 25.04.2012р., № 119 від 21.05.2014р.).

Науковці інституту отримували відзнаки, зокрема звання «Винахідник року Національної академії наук України» присвоєно к.т.н. Слажнєву М.А. (Постанова Президії НАН України № 132 від 13.05.2015 р.); звання «Заслужений винахідник України» присвоєно д.т.н. Мельнику С.Г. (Указ Президента України № 18/2016).

Рішеннями Експертної ради конкурсу «Винахід року» ФТІМС НАН України визначався переможцем в номінаціях «Кращий винахід року у м. Києві та Київській області», зокрема у 2011 році за комплекс винаходу «Спосіб рафінування розплавів фільтруванням» та корисної моделі «Магнітоваговий дозатор дискретної дії для металевих розплавів» (авт. Дубодєлов В.І., Фікссен В.М., Слажнєв М.А., Горшков А.О., Богдан К.С., Моїсеєв Ю.В., Санкін А.О. №№ патентів України 90327, 54799); у 2014 році - за комплекс винаходів «Спосіб рафінування сталі» та «Склад для обробки сталеплавильних шлаків» (авт. Найдєк В.Л., Мельник С.Г., Курпас В.І., Нарівський А.В., Пісмарьов К.Є., Ганжа М.С., Сичевський А.А. №№ патентів України 102945, 97924).

Список літератури

1. Закон України «Про державне регулювання діяльності у сфері трансферу технологій» // Офіційний вісник України.— 2006.— 18 жовтня (№ 40).
2. Бюлетень «Промислова власність у цифрах» Показники діяльності Міністерства економічного розвитку і торгівлі України та Державного підприємства «Український інститут інтелектуальної власності» // Київ. — 2014 — Додаток 3, С. 47.

УДК 621.74.045

И.А. Гримзин, Д.В. Мариненко, О.И. Пономаренко

Национальный технический университет

«Харьковский политехнический институт», Харьков

ОПТИМИЗАЦИЯ ФОРМОВОЧНЫХ СМЕСЕЙ НА ОСНОВЕ ГИПСА

Повышение сложности, точности и тонкостенности литых заготовок влияет на направление развития технологий производства отливок. Литые цветных сплавов находят все более широкое применение в различных отраслях промышленности, особенно при разработке технологии производства новых высокоточных приборов, механизмов и машин. В литейном производстве основные затруднения связаны со сложностью формы деталей и необходимостью получения отливок высокого качества.

В настоящее время в мелкосерийном и опытном производстве получила распространение технология литья алюминиевых сплавов в гипсовые формы.

Отличительной особенностью формовочного материала на основе гипса является хорошая текучесть его в смеси с водой. Способность гипса быстро затвердевать, легкость и простота формовки являются также важным свойством этого материала.

Технология литья алюминиевых сплавов в гипсовые формы обладает целым рядом преимуществ: выход годного литья составляет 70...80%, в то время как аналогичная отливка в песчаных формах имеет 20...30%; в гипсовых формах можно быстро получать отливки разных размеров от мелких до крупных, различного веса от нескольких грамм до десятков килограмм; для изготовления гипсовых смесей используются широко распространенные дешевые материалы – гипс, песок, асбест и т. п.

Для изготовления гипсовых форм использовали следующие материалы: гипс, марки Г-10 Н-III ДСТУ Б В.2.7-82-2010, кварцевый песок 1К₁О₁025 по ГОСТ 29234.0-91, ПАВ, воду. Для получения сухой смеси использовали гипс и кварцевый песок перемешивается в миксере в течении 10-15 мин. Затем для приготовления гипсовой суспензии нужное количество смеси смешивается с водой. Температура воды долж-

на быть в пределах 15...20 °C. Теплую воду выше 30 °C применять не желательно. Это приводит к быстрой кристаллизации гипса с излишним выделением тепла и увеличением объемного расширения. В воды заранее добавили 4...5% асбеста. В воду добавляют сухую смесь и перемешивают в миксере, который вращается с частотой 600...800 оборотов/минуту в течении 45 секунд.

Моделирование свойств смеси проводили на основе использования уравнения регрессии, полученные с помощью метода планируемого эксперимента.

Контролировались следующие физико-механические свойства смеси: прочность на сжатие и газопроницаемость. За газопроницаемость принимали время, за которое воздух прошел сквозь образец.

Для изучения свойств был проведен активный планируемый эксперимент типа 2^{6-3} (эксперимент для трех переменных). В качестве исходных параметров выбрали: прочность на сжатие (y_1) после сушки, газопроницаемость (y_2). Независимыми переменными, которые определяют качество смесей являлись количество: гипса (x_1), воды (x_2) и асбеста (x_3).

В результате обработки полученных данных была получена система уравнений. Проверка полученных математических моделей на значимость и адекватность проводилась с помощью критерия Стьюдента и критерия Фишера.

Анализ математических зависимостей показал, что прочность на сжатие и газопроницаемость повышается с увеличением количества гипса и уменьшается с увеличением количества воды.

В результате исследований была определена область оптимальных составов формовочной смеси на основе гипса. Содержание гипса в смеси составляет от 42 до 62 мас. %, количество воды от 35 до 60 мас. %.

На основе разработанных математических моделей была построена номограмма, которая описывает зависимости между параметрами технологии и свойствами формовочных смесей.

На основе номограммы возможна корректировка параметров процесса приготовления смеси за счет изменения количества составляющих смеси, что может быть использовано для оперативного управления свойствами смеси.

Использование номограммы позволяет стабилизировать свойства гипсовой смеси в промышленных условиях и дает возможность:

- прогнозировать прочность и живучесть гипсовой смеси того или иного состава;

- для заданной прочности либо живучести определить необходимый состав смеси.

УДК 621.74

Д.В. Гриценко, О. И. Пономаренко, Д. В. Мариненко

Национальный технический университет

«Харьковский политехнический институт», Харьков

ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ ОСНАСТКИ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТОНКОСТЕННЫХ ОТЛИВОК

Применение отливок с тонкими стенками очень распространено в машино и приборостроении, от корпусов приборов до ребер на радиаторах компрессора. Сложность заполнения тонких полостей формы расплавом обычно решается путем заливки под низким или высоким давлением. Однако изготовление самой литейной формы такой конструкции по-прежнему является сложной и актуальной задачей литейного производства.

Особый интерес представляют гипсовые формы, они позволяют получать ребра толщиной до 1мм, качество поверхности сравнимое с литьем в кокиль и, что не крайне важно, могут быть применены при литье под низким давлением. Недостатком таких форм является то, что для песчано-гипсовой смеси необходим гигроскопичный материал оснастки.

На практике оказалось, что даже качественно лакированная влагостойкая фанера обладает коротким сроком службы (в районе двух месяцев), а также не обеспечивает необходимое качество поверхности.

Однозначно эту задачу не решал не один материал доступный на рынке, пришлось применять модели из комбинации двух материалов: пластика RAKO-TOOLS, который при правильной обработке обеспечивает хорошую чистоту поверхности, обладает высокими механическими свойствами и выполняет функции каркаса модели; и силикона, который обладает гладкой поверхностью, обладающей хорошим скольжением и не допускает прилипания гипсовой смеси к своим стенкам, достаточной упругостью и хорошей гибкостью.

В качестве среды проектирования выбран программный продукт SolidWorks, что позволяет минимизировать затраты материала на производство модельного комплекта, а также спроектировать ЧПУ обработку.

Конкурентная рыночная цена на литье была достигнута благодаря выбранным материалам и инструментом проектирования.

УДК 621.742.4

Л. А. Дан, Л. А. Трофимова

ГБУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ОТХОДОВ ГРАНУЛИРОВАННОГО ПОЛИСТИРОЛА НА ПРОЧНОСТЬ И ОСТАТОЧНУЮ ПРОЧНОСТЬ ПЕСЧАНО-ГЛИНИСТЫХ СМЕСЕЙ

Из литературы известно, что для формовочных и стержневых смесей оптимальным является сочетание высокой прочности и низкой остаточной прочности [1]. Подобное сочетание свойств достигается заменой глинистого связующего смоляным. Недостатком такого связующего является его высокая стоимость.

В предыдущей работе в качестве упрочняюще-разупрочняющей добавки в песчано-глинистую смесь было предложено вводить отходы гранулированного полистирола [2]. Предполагалось, что при сушке за счет оплавления гранул полистирола и обволакивания расплавом зерен песка прочность смеси должна увеличиваться, а деструкция полистирола при высоких температурах должна приводить к разупрочнению смесей. Однако, оказалось, что при 1,5% гранулированный полистирол увеличивает как сырую и сухую прочность на сжатие, так и остаточную прочность песчано-глинистых смесей [2].

Как и в работе [2] исследования проводили на песчано-глинистой смеси, содержащей 93 % масс. кварцевого песка K02 и 7 % масс. Часов-Ярской глины; содержание отхода гранулированного полистирола в песчано-глинистой смеси было увеличено до 3,0 %. Стандартные образцы испытывали на сжатие сразу после изготовления, после сушки при 60 °С, в течение 1 ч, а также нагрева до 250, 500 и 750 °С и выдержки в печи 1 ч.

Опыты показали следующее (рис. 1).

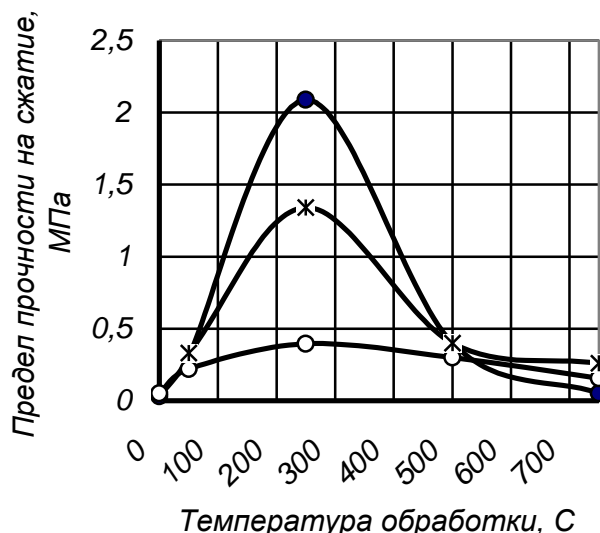


Рис. 1 – Прочность на сжатие формовочных смесей после обработки при различной температуре: о – контрольная смесь; • – опытная смесь, 3% отхода полистирола; * - опытная смесь, 1,5% отхода полистирола

Как и в предыдущей работе [2], в сыром состоянии предел прочности образцов был практически одинаковым (0,05 – 0,06 МПа). После сушки при 60 °С прочность опытных образцов, содержащих как 1,5, так и 3% отхода полистирола также мало отличалась и была на уровне 0,3 МПа, контрольных - 0,22 МПа. После обработки при 250 °С, соответственно, - 1,34, 2,09 и 0,4 МПа; после нагрева до 500 °С – 0,4, 0,4 и 0,3 МПа; после нагрева до 750 °С – 0,26, 0,05 и 0,23 МПа. Таким образом, в результате нагрева образцов до 750 °С смесь, содержащая 3 % отхода гранулированного полистирола существенно разупрочнялась.

Вывод. Отходы гранулированного полистирола в количестве 3% при введении их в песчано-глинистую смесь выступают в качестве упрочняюще-разупрочняющей добавки.

Список литературы

1. Литейные формовочные материалы. Формовочные, стержневые смеси и покрытия: Справочник / А.Н. Болдин, Н.И. Давыдов, С.С. Жуковский и др. – М.: Машиностроение, 2006.- 507 с.
2. Дан Л.А. Механические свойства песчано-глинистых смесей, содержащих отходы гранулированного полистирола / Л.А. Дан, Л.А. Трофимова // Литво. Ме-

талургія. 2017: Матеріали XIII Міжнародної науково-практичної конференції «Литво 2017». – Запоріжжя, 23-25 травня 2017 р.– С.43-44.

УДК 621.74.045

В. С. Дорошенко

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, г. Киев

ПРООБРАЗЫ ПРИРОДОПОДОБНЫХ ПРОЦЕССОВ ЛИТЬЯ

Научно-технологическое развитие сегодня во многом связано с созданием принципиально новых, так называемых природоподобных технологий (ПТ), которые будут повторять процессы живой природы и дадут нам экономичный, как в самой природе, уровень потребления ресурсов, помогут создать новую техносферу — не потребительскую, хищнически относящуюся к природе, выкачивающую из нее все, любой ценой, как за последние две сотни лет, а более гармоничную, экономичную, на принципах соединения органического и неорганического мира, живого и неживого. Так, в созданной во ФТИМС НАНУ технологии литья по ледяным моделям при агрегатных переходах воды (из жидкого в твердое, опять в жидкое и затем в газообразное), при замораживании литейной модели, плавлении модели при освобождении полости литейной формы, а затем испарении влаги при сушке песчаной формы, в какой-то мере подобны кругообороту воды в природе [1-3].

ПТ - часть логичного процесса развития науки, начавшегося от древних греков и натурфилософов древнего мира, которые пытались найти единые закономерности окружающего мира, природы. Затем человек создал физику, химию, биологию, прочие науки, число которых росло, чтобы легче изучать эти узкие направления. По пути этого углубленного анализа, разделения окружающего мира на все более мелкие детали мы дошли, как говорят в микроэлектронике, до предела миниатюризации. Многие вещи, явления, процессы мы изучили досконально, но в то же время зашли в тупик, перестав рассматривать природу как единое целое, самодостаточный организм, существовавший за миллиарды лет до возникновения человека. Мы создавали три сотни лет новый, удобный окружающий мир, укрощали природу. Но к концу XX века вмешательство человека в природу стало критическим. Построенная нами цивилизация оказалась враждебной, антагонистической нашей биосфере, громадная

по затратам ресурсов и количеству отходов, не совместимых с окружающей средой. Мы оказались на пороге ресурсного коллапса, энергетического кризиса, три столетия хищнически истощая недра земли, добывая уголь, нефть, газ. Для развития цивилизации нужен новый технологический уклад, эффективный в потреблении энергии, как природа, дружелюбный ей, основанный на ее принципах. Узкоспециализированная наука, технологии, с которыми мы жили раньше и построили современную цивилизацию, завели нас в глобальный тупик. Значит, от узкой специализации надо перейти к принципиально иному подходу. И развитие науки само этот переход, можно сказать, выкристаллизовало. В конце XIX века, когда процесс разделения на все новые науки был в самом разгаре, начали возникать науки-связки, науки-мостики: геохимия, физикохимия, биофизика и прочие. От анализа мы перешли к синтезу наук. Развивается новое направление конвергенции: мы соединяем новейшие технологии с конструкциями, принципами живой природы, примеры чего описаны, в частности, для литейного производства [4-6]. Основная наша задача — не просто моделировать, а научиться воспроизводить ПТ. С их помощью будут создаваться под заказ новые материалы и системы как для машиностроения, так и для средств транспорта и связи, охраны окружающей среды, новой энергетики и вплоть до медицины и фармацевтики.

Список литературы

1. *Дорошенко В. С.* О природоподобных технологиях для точного литья // Литейщик России. – 2018. - № 2. – С. 22-28.
2. *Дорошенко В. С.* Структура исследований по разработке технологии литья по ледяным моделям с использованием ряда особенностей и природных явлений // Процессы литья. – 2017. - № 1. – С. 39-46.
3. *Дорошенко В. С.* Разработка технологии литья по ледяным моделям с использованием явлений, наблюдаемых в природе // Литейщик России. – 2017. - № 1. – С. 13 - 18.
4. *Дорошенко В. С.* Примеры гармонизации с природой технических и декоративных отливок // Литейное производство. – 2016. - № 9. - С. 30-37.
5. *Дорошенко В. С.* Воспроизведение структур природы как метод получения ресурсосберегающих металлоконструкций // Вестник ДДМА. – 2014. - №1. - С. 43-49.
6. *Дорошенко В. С.* Черпать ресурсосберегающий потенциал, воспроизводя структуры природы // Строительные и дорожные машины. - 2014. - № 7. - С. 31-37.

УДК 669.13 (03)

В. С. Дорошенко

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

ПРЕДПОСЫЛКИ СОЧЕТАНИЯ ЛИТЬЯ ВЧ ПО ЛГМ-ПРОЦЕССУ С ТЕРМООБРАБОТКОЙ ОТЛИВОК

В цикле исследований по теме «Научно-технологические основы создания экономнолитых конструкций с повышенным уровнем эксплуатационных характеристик на основе высокопрочных чугунов (ВЧ) с использованием комплексного физико-химического воздействия на структуру расплава и процесс кристаллизации при регулируемых параметрах давления, вакуума и низких температур» провели обзор работ о применении ВЧ в литейном производстве [1-3]. Совершенствование процессов термообработки ВЧ, показывает, что, в частности, Austempered Ductile Iron (ADI) ($\sigma_b \sim 1000\text{--}1600$ МПа) конкурентоспособен по сравнению с конструкционной сталью [2]. А влияние температуры T ($^{\circ}\text{C}$) изотермической выдержки на структурообразование ВЧ при различных видах термообработки отливки из ВЧ показано на рис. 2 [3].

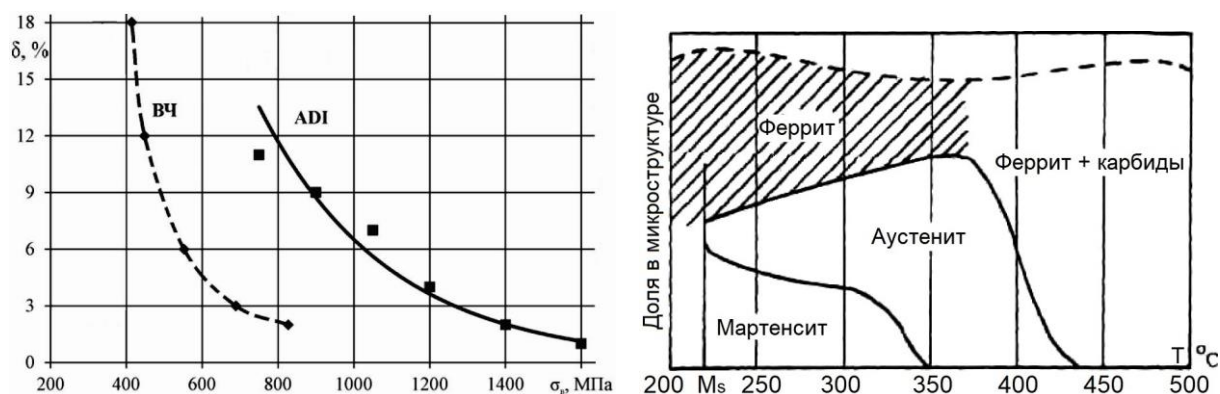


Рис. 1. Механические свойства [2] и структурообразование ВЧ [3].

Во ФТИМС НАН Украины для литья ВЧ методом ЛГМ рекомендован ряд способов оптимизации газового режима формы [4], а также предложен способ ЛГМ для отливок из ВЧ в сочетании с их термообработкой с литого состояния [5]. Отливки извлекают из литейных форм при температуре выше $850\text{--}1000$ $^{\circ}\text{C}$ и в течение 5-15 с производят закалку с изотермической выдержкой при температуре, определяемой требуемым типом структуры [3].

Список литературы

1. Гнатуш В. А. Дорошенко В. С. Тенденции мирового и украинского рынков отливок и развития технологии литья в зеркале 2016 г. // Металл и литье Украины. - 2018. - № 1-2. - С. 29 - 32.
2. Механические и эксплуатационные свойства высокопрочного чугуна марки ВЧТГ / А. А. Новиков, П. С. Дробышевский, С. А. Тюрин, Д. С. Чумак // Вестник ГГТУ им. П.О.Сухого.- 2018. - № 1. – С. 61 – 69.
3. Марукович Е.И., Карпенко М.И. Литейные сплавы и технологии. - Минск: Беларуская навука, 2012. - 442 с.
4. Последние разработки Физико-технологического института металлов и сплавов НАН Украины в области литья по газифицируемым моделям / В. С. Дорошенко, Ю. Г. Квасницкая, И. О. Шинский, С. И. Клименко и др. // Литейное производство. - 2016. - № 10. - С. 34 - 39.
5. Пат. 123731 Україна, B22 D7/00, B22 D23/00 / В. С. Дорошенко, В. О. Шинський. Спосіб виготовлення виливків з бейнітного або аусферитного чавуну з кулястим графітом. № u201708132; заявл. 04.08.2017, опубл. 12.03.2018, Бюл. № 5.

УДК 517.3/621.74

В. С. Дорошенко, В. П. Кравченко, В. О. Шинський

Фізико-технологічний інститут металів і сплавів НАН України, Київ

РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ ІНТЕРВАЛЬНОЇ НЕПЕРЕРВНО-ДИСКРЕТНОЇ МОДЕЛІ ЛИВАРНИХ РОТОРНО-КОНВЕЄРНИХ КОМПЛЕКСІВ.

При одержанні виливків за моделями, що газифікуються у ливарній формі металевим розплавом, структурні перетворення в литому металі відбуваються в результаті складних процесів тепло-масообміну в структурно-неоднорідній системі модель – метал – ливарна форма [1]; крім того, функціонують складові цієї системи в різних теплофізичних полях відповідно до місця і часу їх застосування. Тому розробка методів дослідження стійкості і керованості властивостей теплофізичних полів такої структури доволі актуальна.

Процес охолодження виливка в системі: модель – виливок – дисперсне середовище ливарної форми застосували для регульованого формування виливка в структурно-неоднорідному (неперервно-дискретному) середовищі методом зміни властивостей його дискретних складових, оскільки тепловий потік від виливка проходить крізь шари середовища з різними фізико-хімічними характеристиками, як густина, теплоємність, коефіцієнти теплопровідності і тепловіддачі, геометричні параметри окремих частинок середовища ливарної форми тощо. Розробка науково-технологічних основ одержання виливків у ливарних формах з диференційованими теплофізичними характеристиками дозволила процеси тепло- та масообміну в структурно-неоднорідних системах моделювати для ливарних роторно-конвеєрних комплексів. При дослідженні теплового процесу в таких системах особливе значення набуває вивчення процесу взаємодії цієї системи з газодинамічним потоком при неперервному відборі теплової енергії від охолоджуваного виливка. В математичному плані це приводить до дослідження крайових задач, в яких, крім самого диференціального рівняння і граничних умов, розв'язок задачі повинен задовольняти ще додатковій системі умов спряжень, накладених на цей розв'язок, що враховує перехід теплового потоку з одного фізичного середовища до середовища з іншими фізичними параметрами, тобто до вивчення класу неперервно-дискретних крайових задач [2]. Розглянемо умови стійкості та керованості теплофізичного поля для ливарних систем, що описуються диференціальними рівняннями зі змінними коефіцієнтами. Нехай теплофізичний стан досліджуваного теплового поля задано системою диференціальних рівнянь:

$$\frac{dx}{dt} = x(t)A(t), \quad (1)$$

де $A(t)$ – матриця n -ого порядку, елементи якої $a_{ij}(t)$ – періодичні функції з періодом T ; $x(t)$ – вектор фазових координат розмірності n .

За допомогою одного із відомих чисельних методів побудуємо нормальну фундаментальну систему розв'язків $\Phi(t)$ рівняння (1), яка є матрицею n -го порядку з елементами $\varphi_{ij}(t)$, $i, j = \overline{1, n}$, тобто:

$$\Phi(t) = \begin{vmatrix} \varphi_{11}(t) & \dots & \varphi_{1n}(t) \\ \dots & \dots & \dots \\ \varphi_{n1}(t) & \dots & \varphi_{nn}(T) \end{vmatrix}.$$

Тоді, якщо в усіх функціях $\varphi_{ij}(t)$ замінити t на $t+T$, то в силу періодичності коефіцієнтів $a_{ij}(t)$ ми знову одержимо розв'язок рівняння (1). Одержаний розв'язок не буде співпадати з початковим, але, як і всякий розв'язок, буде лінійною комбінацією функцій $\varphi_{ij}(t)$, що складають нормальну фундаментальну систему розв'язків:

$$\varphi_{ij}(t+T) = \sum_{j=1}^n \varphi_{ij}(T) \varphi_{ij}(t), \quad j = \overline{1, n}. \quad (2)$$

Враховуючи вищезначене співвідношення (2), одержимо:

$$D(\gamma) = \begin{vmatrix} \varphi_{11}(T) - \gamma & \dots & \varphi_{1n}(T) \\ \dots & \dots & \dots \\ \varphi_{n1}(T) & \dots & \varphi_{nn}(T) - \gamma \end{vmatrix} = 0. \quad (3)$$

Рівняння (3) має n -ий порядок відносно параметра γ і являє собою характеристичне рівняння для системи диференціальних рівнянь (1). Якщо корені рівняння (3) за абсолютною величиною менші за одиницю, то система рівнянь (1) є асимптотично стійкою відносно теплових збурень в таких специфічних структурно – неоднорідних роторних системах.

Список літератури

1. Шинский, О. И. Механизм формирования качества отливок, получаемых по газифицируемым моделям / О.И. Шинский // Литейное производство, 1991. № 1.
2. Кравченко, В. П. Определение решений при произвольном числе их сопряжений для системы обыкновенных дифференциальных уравнений / В. П. Кравченко // ДАН УССР. 1972. - № 6. – С. 512-514.

УДК 621.74.045

В. С. Дорошенко, В. О. Шинский

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, г. Киев

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ФОРМОВОЧНОЙ ОСНАСТКИ ДЛЯ
ЛИТЬЯ ИЗ ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА, А ТАКЖЕ ДЛЯ РЕГУЛИРУЕМОГО
ОХЛАЖДЕНИЯ ОТЛИВОК НА КОНВЕЙЕРАХ**

В процессе разработки технологии литья высокопрочного чугуна (ВЧ) провели анализ способов охлаждения отливки, извлеченной из формы, по режиму термообработки отливки. Такие способы позволяют получать требуемые структуры металлической матрицы непосредственно из литого состояния [1-3]. В частности, для быстрого извлечения горячей отливки (например, при температуре нахождения ее в аустенитном состоянии) из формы, состоящей из сухого песка в контейнере по методу ЛГМ, отрабатываются варианты помещения корзины для закалки в контейнер (формовочную оснастку) перед формовкой. Корзина имеет проушины, выходящие к контрладу формы, для зацепления краном, безопасного и быстрого извлечения из контейнерных форм горячих отливок различной конфигурации и крупности, а также выполнена из крупноячеистой сетки для охлаждения отливок прямо в корзине. Таким образом, формовочная или опочная оснастка дополнена корзиной, которая практически не ухудшает условия формовки, но облегчает быстрое извлечение отливки из сухого песка формы. Известны способы для отливок с толщиной стенки менее 20 мм охлаждения (закалки) на воздухе [1], но чаще отливки из ВЧ извлекают из литейных форм при температуре выше эвтектидного превращения - 900-1000 °С и быстро, в течение 5-15 с, перемещают в жидкую ванну с температурой, определяемой требуемым типом структуры. Во ФТИМС НАН Украины получен патент на способ такого комбинированного литья с извлечением горячих отливок из формы и выполнением их изотермической закалки [3]. В этом способе используют преимущества ЛГМ-процесса – быстрое разуплотнение песка формы при отключении вакуума и опыт регулируемого охлаждения отливок, включая их погружение в емкость с закалочной средой, однако не жидкой а сыпучей песчаной.

Кроме того, при выполнении научной работы «Научные и технологические основы создания высокопроизводительных литейных процессов получения литых кон-

струкций из железоуглеродистых и цветных сплавов и разработка концепции литейных роторно-конвейерных комплексов» также рассматривали целесообразность включения в состав опочной оснастки корзин. В частности, для конвейерных комплексов литья в вакуумируемых песчаных формах с целью сокращения длины конвейерного фрмовочно-заливочного участка и отделения от него участка охлаждения предложено участок охлаждения отливок выполнять по типу закрытого наклонного желоба с регулируемыми его углом наклона и длиной [4]. Этот желоб снабжен средствами охлаждения и отсоса газов. Из песчаных форм после заливки их металлом на конвейере отливки с песком плавно перемещают во входное отверстие желоба (как следующую ветвь конвейера), по прохождении которого они приобретают достаточную прочность и, попадая в него с комом песка, перемещаются под уклон, охлаждаются и подаются следующей ветвью конвейера на обрубку и очистку. В концепции конструирования наклонного желоба предусматривается изоляция его внутреннего пространства от пространства цеха и вентиляция путем вакуумирования для удаления газов от нагретого песка, а также частичное удаление песка и введение хладагента в виде воды или потока воздуха для регулируемого охлаждения отливок. Движение отливок по желобу в корзинах исключает сцепление горячих отливок в желобе и четко фрагментирует движение литой продукции на конвейерном комплексе.

Список литературы

1. *Дорошенко В. С.* Возможности литья чугуна с шаровидным графитом по газифицируемым моделям с изотермической закалкой отливок // Литейное производство. – 2017. - № 11. - С. 7- 14.
2. *Дорошенко В. С.* Предпосылки встраивания термообработки в процесс литья высокопрочного чугуна по газифицируемым моделям // Металл и литье Украины. – 2017. - № 6-7. – С. 10 - 16.
3. Пат. 123731 Україна, B22 D7/00, B22 D23/00 / В. С. Дорошенко, В. О. Шинський. Спосіб виготовлення виливків з бейнітного або аусферитного чавуну з кулястим графітом. № u201708132; заявл. 04.08.2017, опубл. 12.03.2018, Бюл. №5.
4. Пат. 2070470 Россия, МКИ B22C 9/02 / В. С. Дорошенко, Н. И. Шейко. Установка для литья. № 4864296; заявл. 06.09.1990, опубл. 20.12.1996.

УДК 621.746.6:669.046.516.4:669.715

Н.В. Доценко, В.Ю. Селиверстов, Ю.В. Доценко

Национальная металлургическая академия Украины, Днепр

ВЛИЯНИЕ КОМПЛЕКСНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПОВЫШЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ОТЛИВОК ИЗ СПЛАВА АК5М С ВЫСОКИМ СОДЕРЖАНИЕМ ЖЕЛЕЗА

Наиболее вредной примесью в доэвтектических алюминиевых сплавах системы Al-Si является железо, образующее соединения различного состава (FeAl_3 , Al_2SiFe , $\text{Al}_4\text{Si}_2\text{Fe}$, Al_5SiFe и др.) [1, 2]. Все железосодержащие фазы при обычных температурах кристаллизации сплавов имеют грубокристаллическое строение и поэтому оказывают сильное влияние на снижение механических свойств, в особенности пластичности. Например, в доэвтектических силуминах железо образует с компонентами сплава тройную промежуточную фазу $\beta(\text{AlFeSi})$, кристаллизующуюся в форме грубых иглообразных выделений, резко снижающих пластические свойства сплавов.

Основными источниками насыщения алюминиевых расплавов железом являются чугуны тигли раздаточных и плавильных печей, заливочные ковши, переплавляемый алюминиевый лом, содержащий стальные вкладыши и элементы кремния, не удаленные перед плавкой.

В сплавах системы Al-Si эвтектический кремний и железосодержащие фазы имеют ковалентный тип межатомных связей, что обуславливает их направленность при кристаллизации. Для уменьшения анизотропии силовых полей валентных электронов в образующемся зародыше при кристаллизации необходимо изменить характер межатомного взаимодействия.

Один из возможных вариантов изменения формы и размеров включений фаз с ковалентным типом межатомных связей - введение в расплав примесей, атомы которых, растворяясь в растущем кристалле, ослабляют ковалентную составляющую связи между его атомами, и тем самым уменьшают ориентирующее действие кристалла на соприкасающуюся с ним жидкую фазу.

Если в отношении изменения формы включений эвтектического кремния этот вопрос успешно решен, то применительно к модифицированию железосодержащей фазы имеются существенные трудности в его практической реализации. Поэтому задача связанная с разработкой технологических решений направленных на устра-

нение вредного влияния железа в алюминиевых литейных сплавах является актуальной.

В таблице 1 приведены результаты испытаний по определению механических свойств металла отливок из сплава АК5М, полученного с применением комбинированной технологии газодинамического воздействия и модифицирования в сравнении с соответствующими свойствами литого металла, полученного по традиционной технологии литья в кокиль.

Таблица 1-Механические свойства металла отливок из сплава АК5М

№ образца		σ_s , МПа	НВ (МПа)	δ , %
1	до обработки	165,3	510	2,0
2		163,6	500	1,9
3		165,1	500	1,9
4	после обработки	195,3	512	2,30
5		193,8	508	2,29
6		194,2	511	2,31

В результате применения указанной технологии удалось измельчить и сфероидизировать железосодержащие фазы, повысить уровень механических свойств на 15-20%, количество брака отливок по рыхлотам и газовым раковинам сократить на 28 %.

Список литературы

1. Ларионов, Г.В. Вторичный алюминий [Текст] / Г.В. Ларионов. - М.: Металлургия, 1967. - 271 с.
2. Немененок, Б.М. Теория и практика комплексного модифицирования сплавов [Текст] / Б.М. Немененок. – Мн.: Технопринт, 1999. – 272 с.

УДК 621.745

Е.А. Дрозд, М.М. Ворон

Физико-технологический институт металлов и сплавов

НАН Украины, г. Киев

e-mail: drozd.eo@gmail.com

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ ПЛАВКИ И ЛИТЬЯ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ

Электронно-лучевая литейная технология рассматривается как перспективное направление получения металлопродукции высокого качества, в том числе титанового литья [1], на практике эта технология пока не получила широкого применения. В значительной степени это объясняется высокой стоимостью, сложностью в эксплуатации и низкой производительностью оборудования для электронно-лучевой гарнисажной плавки (ЭЛГП), которое по этим показателям существенно уступает оборудованию для вакуумно-дуговой гарнисажной плавки (ВДГП), являющейся основой современной литейной технологии титана [2].

Разрабатывавшиеся до последнего времени агрегаты характеризовались оснащением высокопроизводительными высоковакуумными насосами, термокатодными электронно-лучевыми пушками и гарнисажными тиглями с системами электромагнитного перемешивания расплава (СЭМП), а также приемными литейными устройствами карусельного типа, обеспечивающими возможность проведения нескольких плавов без разгерметизации плавильного агрегата. В последние годы стала проявляться тенденция перехода к разработке вместо громоздких высоковакуумных агрегатов с термокатодными электронно-лучевыми пушками литейных установок с бустерными вакуумными насосами, обеспечивающими проведение плавки в среднем вакууме при осуществлении обогрева пушками высоковольтного тлеющего разряда (ВТР), которые не требуют использования вакуумных насосов.

Характерными чертами новых установок для плавки титана являются стремление использовать промежуточные емкости, позволяющие удалять из расплава титана неметаллические включения, и несколько литейных камер, расширяющих технологические возможности [3].

Усовершенствование конструкции пушек ВТР применительно к их использованию при ЭЛГП с электромагнитным перемешиванием расплава была направлена на устра-

нение недостатков, которые были выявлены у пушек этого типа в ходе их эксплуатации. Эти недостатки сводились в основном к следующим моментам: 1) поверхность катода, с которой осуществляется эмиссия электронов, используется не полностью, так как в известных пушках диаметр апертуры анода меньше, чем диаметр катода; 2) в эксплуатируемых пушках из-за большого расстояния от лучевода до обогреваемой поверхности имеют место повышенные потери энергии электронов, а также наблюдается перегрев элементов пушки вследствие воздействия излучения с поверхности ванны; 3) наличие в пушках лучеводов усложняет их конструкцию и повышает стоимость.

Относительно гарнисажных тиглей для ЭЛГП можно отметить, что требования к усовершенствованию их конструкции в настоящее время сводятся в основном к разработке тиглей повышенной емкости – до 150 кг расплава (по титану). Тигли указанной емкости разрабатываются совместно Институтом электродинамики НАН Украины и ФТИМС НАН Украины [5]. В них предусматривается перемешивание расплава за счет СЭМП в направлении от центра ванны к стенке тигля, определяемое как прямое перемешивание, и в обратном направлении.

Список литературы

1. Ладохин С.В. Электронно-лучевая плавка в литейном производстве / Под ред. С.В. Ладохина – Киев: Изд-во «Сталь», 2007. – 626 с.
2. Титановые сплавы. Плавка и литье титановых сплавов / А.Л. Андреев, Н.Ф. Аношкин, К.М. Борзцовская и др. – М.: Металлургия, 1978. – 384 с.
3. Патент України на корисну модель №92810 «Електронно-променева установка для одержання литих заготовок», МПК C21C5/56 / М.І. Левицький, С.В. Ладохін, Т.В. Лапшук та ін. – Опубл. 10.09.2014. Бюл. № 17.
4. Ладохін С.В. Патент України на корисну модель № 93183 «Газорозрядна електронна гармата», МПК H01J37/06 / С.В. Ладохін. – Опубл. 25.09.2014. Бюл. № 18.
5. Выбор конструкции гарнисажных тиглей повышенной емкости для электронно-лучевой плавки титана / А.И. Глухенький, Ю.М. Гореславец, Ю.М. Бондар и др. // Процессы литья. – 2017. - № 4. – С. 58-65.

УДК 537.84:669:621.74

**В.И. Дубоделов, В.Н. Фиксен, В.К. Погорский, В.А. Середенко,
М.С. Горюк, Ю.П. Скоробагатько, К.С. Богдан, А.О. Горшков**

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, г. Киев

Тел/факс: 0444242050, e-mail: mgd@ptima.kiev.ua ; mgd@i.kiev.ua

ЛИТЕЙНОЕ И МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЕ МГД-ОБОРУДОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ: РАЗРАБОТКИ ПОСЛЕДНИХ ЛЕТ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Отдел магнитной гидродинамики ФТИМС НАН Украины уже более 50 лет занимается разработками, связанными с использованием электромагнитных полей в технологиях приготовления и разливки черных и цветных сплавов и получения из них литых изделий. За истекшее время была создана гамма уникального оборудования – магнитодинамические насосы, установки и миксеры-дозаторы для литья и металлургии, а также оригинальные сопутствующие технологии. За последние годы, отдел имеет ряд научных и практических достижений, в частности:

- МГД-обработка расплавов, в т. ч. с использованием модулированной электромагнитной силы и управляемого пинч-эффекта, для воздействия на жидкое состояние сплавов и как следствие – существенного улучшения структуры и свойств сплавов;

- комплексная рафинирующая обработка алюминиевых сплавов путем продувки аргоном и фильтрацией через пенокерамические фильтры в условиях протекания по расплаву электрического тока и действия ряда МГД-эффектов, что обеспечило высокую степень очистки сплава от водорода и неметаллических включений;

- литейный комплекс по получению алюминиевого литья, в состав которого входит модернизированная МГД-установка с расширенными функциональными возможностями;

- МГД-технологии приготовления монотектических сплавов на основе меди и получения литых изделий из них для машиностроения и строительства;

- МГД-миксер-дозатор для приготовления и разливки чугуна и стали, который стал прототипом магнитодинамического промежуточного ковша для непрерывной разливки;

- специализированные МГД-устройства, способные создавать различные виды магнитного поля (пульсирующее, бегущее, вращающееся) и имеющие широкую об-

ласть практического применения – перемешивание при плавке и приготовлении сплавов, лигатур, получении металлических суспензий, влияние на формирование жидкометаллических потоков при разливке, воздействие на кристаллизующиеся отливки;

- макетный образец МГД-установки, способной развивать повышенное электромагнитное давление для литья специальных изделий высокотехнологичной техники;

- получение алюминиевых сплавов с диамагнитными и ферромагнитными добавками в условиях воздействия на процесс кристаллизации постоянного магнитного поля.

На ближайшие годы наиболее перспективными представляются работы в области МГД-обработки металлических расплавов для получения улучшенных и новых сплавов, комбинирование электромагнитных полей с другими видами высокоэнергетических физических воздействий на жидкометаллические среды (МГД-плазменная обработка расплавов), адаптация гаммы МГД-устройств к непрерывным литейным и металлургическим процессам, в т. ч. при литье тонких слябов, разливке в двухвалковый кристаллизатор, полунепрерывном литье заготовок в условиях микрозаводов.

УДК 537.84:538.4

В.И. Дубоделов, В.Н. Фиксен, А.Н. Смирнов, М.С. Горюк,

А.О. Горшков, А.В. Яценко, А.Ю. Семенко

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, г. Киев

Тел./факс.: 0444242050, e-mail: mgd@ptima.kiev.ua ; mgd@i.kiev.ua

СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ МГД-УСТРОЙСТВА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ РАСПЛАВОВ ПРИ ИХ ОБРАБОТКЕ И РАЗЛИВКЕ

В современных процессах получения литых изделий из сплавов черных и цветных металлов требуется оказывать на жидкометаллические среды управляемое силовое воздействие для создания требуемых технологических режимов перемешивания и разливки расплавов.

В отделе магнитной гидродинамики ФТИМС НАН Украины создан ряд специализированных автономных мобильных МГД-устройств для достижения поставленных целей.

Так, разработано устройство для электромагнитного перемешивания металлических расплавов. Благодаря своим конструктивным особенностям, оно позволяет создавать различные виды электромагнитных полей – пульсирующее, бегущее, вращающееся – и варьировать их использование в литейных и металлургических агрегатах с расплавом в зависимости от конкретной технологической потребности (например, перемешивание жидких сплавов при их плавке и операциях внепечной обработки).

Принцип действия другого МГД-устройства пульсирующего магнитного поля позволяет обеспечить формирование жидкометаллического потока, управлять зоной его выдачи и равномерно распределять расплав на заданную ширину, что очень важно в технологиях непрерывной разливки в двухвалковый кристаллизатор при получении листовой металлопродукции.

Экспериментальная проверка работоспособности указанных МГД-устройств на жидком алюминиевом сплаве подтвердила широту и разнообразие их функциональных возможностей. В перспективе указанные устройства могут также применяться для воздействия на кристаллизующийся металл в литейных формах и кристаллизаторах.

УДК 621.74.744

Н.С. Євтушенко, С.Д. Євтушенко

Національний технічний університет

«Харківський політехнічний інститут», м. Харків

ЗАСТОСУВАННЯ В ЛИВАРНОМУ ВИРОБНИЦТВІ СМОЛЯНИХ ЗВ'ЯЗУЮЧИХ

Ливарне виробництво є основною заготівельною базою машинобудування. Підвищення вимог до економічності і якості продукції машинобудування і металообробки, в першу чергу, пов'язано з підвищенням якості і точності виливків, максимальним наближенням їх розмірів до розмірів готових деталей.

При виготовленні виливків в разових піщаних формах застосовуються стрижні, що утворюють внутрішні отвори в виливок. Ливарні стрижні з усіх боків оточені розплавленим металом в момент заливки форм, а при охолодженні металу відчувають стискує зусилля, тому до стержнів пред'являються особливі вимоги. Стрижнева суміш - багатокомпонентна суміш матеріалів, що складається з вогнетривкої наповнювача (формувальний пісок) і зв'язуючих добавок органічного (смоли) і неорганічного (рідке скло) походження, і інші.

Вибір і розробка зв'язуючих для ливарних формувальних і стрижневих сумішей базується на необхідності забезпечення комплексу технічних, технологічних, санітарно-гігієнічних і економічних вимог до ливарної форми. Процес виготовлення стрижнів з використанням необоротних зв'язуючих, отверждаємих в нагрівається оснащення носить назву - Hot-box - процес. В якості зв'язуючих використовуються синтетичні смоли - продукти конденсації формальдегіду з карбамідом і / або фенолом і / або фурфуріловий спиртом.

Недоліками процесу виготовлення стрижнів у нагріваної оснастці є важка екологічна обстановка на стрижневих і заливальних ділянках; великі експлуатаційні витрати на енергоносії (газ, електроенергію). Процеси виготовлення ливарних стрижнів в «які не нагріваються» оснащення під загальною назвою Cold Box засновані на отвердженні стрижневою суміші під дією «зовнішніх» (газофазних отверджувачів або каталізаторів) або «внутрішніх» (рідких, рідше порошкоподібних, отверджувачів або каталізаторів) реагентів. У вітчизняному ливарному виробництві частка стрижнів і форм, що виготовляються з холоднотвердіючих сумішей (ХТС) за експертними оцінками становить 50-55%. Переваги Cold Box процесу в порівнянні з Hot Box: підвищення міцності виливків на 1-2- класу і, відповідно, зменшення припусків на обробку на 10-20%, висока якість литих поверхонь, можливість повної автоматизації процесів виготовлення стрижнів; зниженні на 20-30% потер від шлюбу виливків, зниженні витрат енергії більш ніж в 10 разів. Поліпшення екологічної обстановки і умов праці в стрижневих відділеннях. Висока ефективність Cold Box процесу обумовлює його широке використання в ливарних цехах Європи і України.

Останнім часом провідні виробники зв'язуючих комплексів продовжують активний пошук в області створення екологічно чистих матеріалів для виготовлення стрижнів по Cold Box - процесам.

Зростаючі вимоги до якості виливків в сучасному світі, ефективності їх виготовлення і екологічним аспектам призводить до того, що вимоги до властивостей фор-

мувальних і стрижневих сумішей, особливо в останні роки, безперервно підвищуються.

Безперечними перевагами володіють суміші на зв'язуючих неорганічного походження. При розробці технологій на холоднотвердіючих сумішах запропоновано використання умовно безпечних смоляних зв'язуючих. Розроблено нове зв'язуюче ОФОС для ХТС на основі продуктів переетерифікації етилсилікату-40 (ЕТС-40) і фурфурілового спирту, яке представляє собою екологічно чисте зв'язуюче і за своїми властивостями не поступається закордонним аналогам. Використання ОФОС забезпечує екологічну безпеку технологічного процесу в результаті відсутності виділень отруйних і токсичних речовин, як в «холодній» стадії процесу, так і при заливці розплавленим металом, охолодженні, вибиванні і утилізації формувальних і стрижневих сумішей. (Патент України UA № 23593)

Сучасний розвиток технологій лиття пов'язано не тільки з вимогами до підвищення продуктивності праці і зниження собівартості продукції, а й з необхідністю всебічного поліпшення санітарно-гігієнічних умов праці і екології навколишнього середовища.

Література

1. Евтушенко Н.С. Использование экологически чистых связующих в литейном производстве. /Металлургическая и горнорудная промышленность. –2016 – №3.- С.48-53
2. Патент на корисну модель № 23593 Україна. Спосіб одержання холоднотвердіючих сумішей. Авторів Каратеев А.М., Пономаренко О.І., Евтушенко Н.С. та ін. Опубл. 25.05.2007. Бюл. № 7, 2007 р.

УДК 621.746.558.086.4

А.П. Еременко, А.И. Кобзева, А.А. Сиваева

Днепропетровский государственный технический университет, г. Каменское

ВЛИЯНИЕ ДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА НА КРИСТАЛЛИЗАЦИЮ МЕТАЛЛА ОТЛИВКИ

В литейном производстве существует проблема дефицита недорогих и не энергоемких методов оперативного влияния на расплав, который кристаллизуется.

Поэтому в этой области активно ведутся разработки различных физических методов, которые давали бы возможность регулирования процессов формирования микро и макроструктуры.. Как показали исследования одним из перспективных способов воздействия на структуру и свойства литейных сплавов является обработка расплава электрическим током в процессе кристаллизации.. Воздействие электрического тока на металл до настоящего времени остается недостаточно изученным и требует существенных уточнений.

Исследования проводили на лабораторной установке с помощью которой на расплав, который кристаллизуется в форме, можно подавать электрический ток заданной силы и скважности. Исследовали воздействие электрического тока разной силы, частоты и скважности на макроструктуру сплава.

Влияние электрического тока на протекание кристаллизации изучали на прозрачной модели из гипосульфита и на чугуна с содержанием 3,6%C, 0,6%Si, 0,5%Mn, 0,1%S, 0.15%P.

На прозрачной модели гипосульфита был физически смоделирован процесс воздействия постоянного и переменного разной силы электрического тока, различной полярности и частоты на кристаллизацию расплава. Сила постоянного тока изменялась от 15 до 25 мА. Действие данных токов на расплав гипосульфита позволило получить мелкозернистую структуру, с меньшей зоной столбчатых и большей зоной равноосных кристаллов. При увеличении силы тока до 150 и 300 мА структура изменилась на крупнозернистую, увеличилась зона столбчатых кристаллов, зона равноосных кристаллов практически отсутствовала.

Проведение экспериментов на чугуна состояло из двух серий. В первой серии эксперимента величина силы тока, который подавался на исследовательский образец сплава, составляла 3 А, скважность 1 при частоте 200 кГц. Во второй серии экспериментов сила тока составляла также 3 А, скважность 3, частота 200 кГц.

Из полученных отливок вырезались 3 образца -2 периферийных – верхний и нижний и один центральный, из которых готовили шлифы по стандартной методике. Характеристика графита определялась на нетравленном шлифе, а металлическая основа - на шлифе после травления при увеличениях $\times 100$ и $\times 500$ на микроскопе Neophot-21.

Все образцы имели микроструктуру, характерную для серого чугуна, а именно: большое количество крупных включений мало разветвленного и мало завихренного графита; металлическая основа характерная для доэвтектического чугуна: первич-

ные дендриты аустенита, преобразованные в перлит, эвтектические колонии. Графит в исходных образцах пластинчатый завихренный ПГ4, длина графитных включений ПГД90, распределение неравномерное. При кристаллизации с приложенным электрическим током распределение графита более равномерное, включения более однородные по размеру.

В центре образцы имели перлитную структуру, на периферии - ледебурит. Эвтектическое преобразование происходило в начале по стабильной схеме, а в конце - по метастабильной. Такая последовательность образования эвтектики характерная для половинчатого чугуна.

Сравнение образцов, через которые в период охлаждения пропускали электрический ток, с контрольными показывает, что при прохождении тока несколько уменьшается количество ледебурита, укрупняются эвтектические колонии, уменьшается дисперсность перлита. Структура чугуна меняется от П85 к П45. У образцов из чугуна, который закристаллизовался с приложенным электрическим током включения карбидов рассредоточены практически равномерно по всей площади шлифа, в образцах чугуна без обработки наблюдалась концентрация карбидов вблизи сердцевины шлифа и в приповерхностных участках. Это можно объяснить изменением скорости протекания процессов протекающих на границах раздела с замедлением скорости роста новой фазы, может так же оказывать влияние и выделение теплоты при прохождении тока через отливку.

УДК 669-178

Жбанова О.М., Саїтгарєєв Л.Н.

Державний вищий навчальний заклад

«Криворізький національний університет», Кривий Ріг

ВИБІР ОПТИМАЛЬНОГО РЕЖИМУ МОДИФІКУВАННЯ ЕЛЕКТРОІМПУЛЬСНИМ СТРУМОМ СТАЛЬ 35ГЛ

Проблема поліпшення структури литих виробів є предметом численних досліджень. Для підвищення якості та властивостей виливків все більшого застосування набуває метод впливу електричного струму на розплав при кристалізації.

Отримані теоретичні та практичні результати досліджень різних авторів свідчать про те, що під впливом постійного електричного струму на розплав, існує можливість переміщення легуючих елементів з тіла виливки до її поверхні. До теперішнього часу практично невивченими залишаються питання про вплив струму на механізми фазоутворення в рідко-твердих станах з різним типом провідності твердих включень. Особливо багато суперечностей висловлюється щодо механізму масопереносення елементів у внутрішніх шарах виливки під дією постійного та електроімпульсного струму.

Проведення комплексу досліджень з вивчення ефекту модифікування імпульсним струмом марганцевмісних розплавів під час їх кристалізації у ливарній формі є актуальним завданням. За попередніми даними, імпульсно-періодичне струмове модифікування розплавів має певні переваги у порівнянні з обробкою постійним і змінним струмом. Насамперед, - це більш низькі енерговитрати при одночасному зменшенні втрат на нагрів металу.

Таким чином, теорія і практика ливарного виробництва зацікавлені в розробці таких фізичних методів, які дозволяють впливати на метал в найвідповідальніший момент формування структури, дозволяють керувати процесом кристалізації металів і сплавів.

Таблиця 1 - Режими електроімпульсного токового впливу

Параметри струму	Режим 1	Режим 2	Режим 3	Режим 4
Силі струму, А	20, 40, 60, 80			
Скважність	2	5	15	24
Частота, Гц	5	10	33	33

Обробку розплаву електроімпульсним струмом проводили з початку заливки металу у форму до закінчення кристалізації, при цьому змінювались параметри сили струму від 20 до 80А, сквапності від 1 до 24, а також частоти від 5 до 33 Гц. Для проведення дослідів було обрано 4 режими модифікування (табл.1)

Електроімпульсний струм, проходячи через рідку сталь, різко збільшує швидкість утворення критичних зародків. Це призводить до активної об'ємної кристалізації. Дендритна кристалізація переривається набагато раніше, ніж у не модифікованого виливка. Метал у зоні об'ємної кристалізації має більш дрібну структуру та більшу щільність. В модифікованому виливку усадкова пористість незначна.

Встановлено, що при оптимальній силі струму 40А та режиму 3 у зразках сталі 35ГЛ розмір зерен карбідів марганцю зменшується в 6 раз, карбіди марганцю розташовані в центрі зерен основи у порівнянні з контрольними зразками.

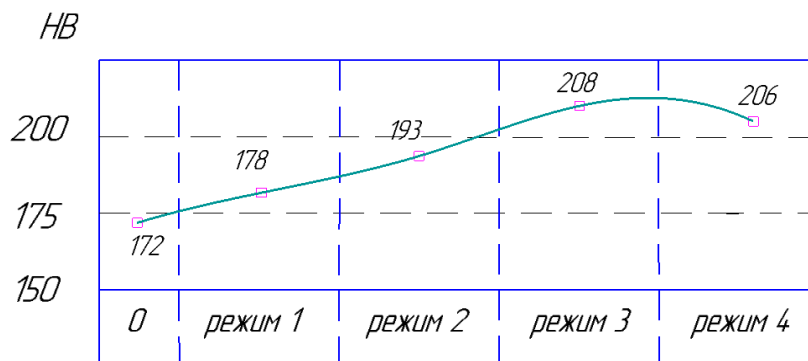


Рисунок 1 – Зміна твердості сталі 35ГЛ в залежності від режиму модифікування електроімпульсним струмом змінної полярності

Електроімпульсна обробка розплаву сталі 35ГЛ струмом змінної полярності тривалістю імпульсів більше 10^{-3} с, частотою 5-33 Гц, силою 30-40А, сквапністю 5-24, при напрузі у мережі 180-240В при кристалізації у ливарній формі сприяє

- зменшенню фізичної неоднорідності: вміст газів та інших неметалічних включень знижуються, їх розподіл стає більш рівномірним протяжність тріщин у виливках знижується в 7 разів, відстань між порами зменшується у 3,3 рази, кількості пор на 1 см^2 - у 1,8 раз, а їх діаметр - в 5 раз;

- зменшенню структурної неоднорідності: розміри зерен металевої основи зменшуються з 280 до 82-85 мкм, а розміри карбідів марганцю - з 6,7 до 0,3-0,5 мкм;

- істотному підвищенню основних механічних властивостей литої конструкційної сталі 35ГЛ: межа міцності збільшується на 9%, ударна в'язкість – на 21%, твердість (НВ)– на 6% (рис.1).

УДК 621.771

Н. А. Жижкина

Брянский государственный технический университет, Брянск (Россия)

**ПОВЫШЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ
ЛИСТОПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ**

Повышение требований к качеству металлопродукции на мировом рынке вызвало увеличение интенсивности работы листопрокатных станов. Скорость и точность процесса листовой прокатки определяется конструкцией и качеством листопрокатных валков.

Результаты ранее проведенных исследований показали, что решить такую задачу возможно путем центробежного литья листопрокатных валков с рабочим слоем из высоколегированных сплавов и вязкой прочной сердцевинной. Такая технология обеспечивает надежное сваривание разнородных слоев и образование переходной зоны, которая предотвращает смешивание металлов рабочего слоя и сердцевинной.

Одним из эффективнейших факторов валковой технологии в формировании необходимого уровня механических и эксплуатационных свойств рабочего слоя листопрокатных валков является приготовление его расплава (плавление и выпечная обработка), когда возможно одновременно воздействовать на размер первичных зерен, морфологию металлической основы, упрочняющих фаз и неметаллических включений. Такое воздействие включает процесс легирования. Регулируя соотношение количества основных и легирующих компонентов в расплаве рабочего слоя листопрокатных валков и скорость охлаждения их отливок, управляют их сопротивлением к износу, коррозии и высоким термическим нагрузкам.

В связи с этим актуальным направлением развития производства листопрокатных валков является разработка технологии приготовления расплава для их рабочего слоя.

В результате анализа существующих технологий приготовления расплавов для рабочего слоя листопрокатных валков, влияния специальных легирующих компонентов на их структуру и уровень свойств проведена оптимизация химического состава высоколегированного сплава, характеризующегося высокими механическими и эксплуатационными свойствами.

На основе использования комплекса современных методов и аппаратуры установлена объективная связь между технологическими параметрами приготовления высоколегированного расплава для рабочего слоя листопрокатных валков, его структурой и механическими свойствами.

Выявлены закономерности индивидуального и комплексного действия никеля, хрома, ниобия, молибдена, ванадия и вольфрама на структуру, механические свойства высоколегированного сплава для рабочего слоя листопрокатных валков.

В результате исследований разработан новый состав высоколегированного сплава для рабочего слоя листопрокатных валков, характеризующийся комплексом прогнозируемых механических и эксплуатационных свойств, который обеспечивает повышение долговечности рабочего слоя листопрокатных валков по сравнению с существующими аналогами.

УДК 621.745.5.06/.07:536.5

Л. Ф. Жуков, М. И. Смирнов, Д. А. Петренко, А. Л. Корниенко

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, г. Киев

Тел.: +38 044 424-20-86, моб.: +38 050 475-07-45;

e-mail: zhukov@i.com.ua, <http://zhukov.kiev.ua>

НЕПРЕРЫВНЫЙ КОНТРОЛЬ ТЕМПЕРАТУРЫ РАСПЛАВОВ НЕПОСРЕДСТВЕННО В МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПЕЧАХ И АГРЕГАТАХ

Непрерывный контроль температуры расплавов в печах и агрегатах обеспечивает наиболее высокие технико-экономические показатели работы металлургического оборудования. Бесконтактные термометрические технологии, в том числе классические, не пригодны для оптически закрытых объектов, например, покрытых шлаком металлических расплавов. Накопленный ФТИМС НАНУ многолетний опыт применения контактных, бесконтактных и световодных методов температурных измерений показал, что для реализации непрерывного термоконтроля расплавов непосредственно в металлургических печах и агрегатах наиболее эффективными и надежными являются световодные термометрические технологии (СТ-технологии) [1]. СТ-технологии обеспечивают непрерывный, в режиме «on-line», контроль температуры расплавов в металлургических печах и агрегатах, в том числе в индукционных ти-

гельных и канальных плавильных, миксерных и разливочных печах. Также возможно применение СТ-технологий для термоконтроля стекольных, солевых и керамических расплавов, газовых сред и футеровки в металлургическом, коксохимическом, огнеупорном, энергетическом и других производствах.

Принцип работы СТ-технологий основан на формировании и передаче, с помощью огнеупорных коррозионностойких световодов, теплового излучения, термометрические параметры которого однозначно связаны с температурой контролируемого объекта (Рис. 1).

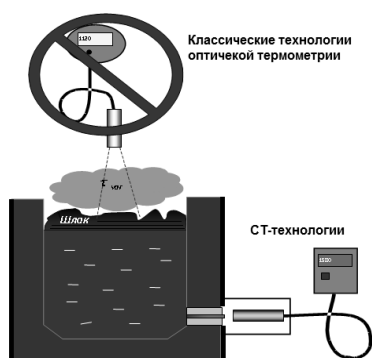


Рис. 1 – Схема световодного термоконтроля.

Световодный термоконтроль внедрен с высоким технико-экономическим эффектом на отечественных и зарубежных предприятиях, в том числе предприятиях автомобиле-, трактор- и двигателестроения. Экономия достигается в основном за счет снижения уровня брака и расхода электроэнергии, топлива и шихтовых материалов, повышения срока службы футеровки металлургического оборудования, исключения аварий, связанных с неконтролируемым перегревом или охлаждением металла. СТ-технологии обеспечивают непрерывный, в течение всей кампании футеровки, контроль температуры железоуглеродистых расплавов в индукционных тигельных и канальных плавильных, миксерных и разливочных печах со средними квадратическими погрешностями, соответственно не превышающими 6,4; 4,9 и 4,3 °С, в диапазоне от 1200 до 1600 °С [2].

СТ-технологии защищены авторскими свидетельствами и патентами в Украине и России, а также 29 зарубежными патентами в Австралии, Болгарии, Германии, Великобритании, Канаде, США, Швеции и Японии.

Список литературы

1. *Zhukov L. F.* Complex of innovative technologies for control of temperature regimes of production, including metallurgical, processes // Project Book of 2017 Qingdao International Technology Transfer Conference & Aoshan Eurasian Science and Technology Forum. – Qingdao, 2017. – P.246-247.

2. *Zhukov L. F.* Based on modern continuous temperature control PCS for induction processes of receipt, processing and pouring of liquid cast iron at machine-building foundries // Project Book of 2017 Qingdao International Technology Transfer Conference & Aoshan Eurasian Science and Technology Forum. – Qingdao, 2017. – P.251-252.

УДК 526.521.3

Л. Ф. Жуков, Д. А. Петренко, А. Л. Корниенко

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, г. Киев

Тел.: +38 044 424-20-86, моб.: +38 050 475-07-45;

e-mail: zhukov@i.com.ua, <http://zhukov.kiev.ua>

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ СПЕКТРАЛЬНОЙ ТЕРМОМЕТРИИ СПЛАВОВ И ИХ МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Оптическая термометрия безальтернативна для измерений температуры малых, движущихся, удаленных и высокотемпературных объектов.

Классические технологии оптической термометрии применимы на доступных для пирометров контролируемых объектах со стабильными излучательными характеристиками и пропусканием промежуточной среды, без введения температурных поправок, в случае черного тела для энергетической и черного и серого тел для двухцветовой пирометрии излучения или с использованием поправок – в случае любых окрашенных тел. В производстве, при случайных изменениях излучательных характеристик, методические погрешности измерений классической термометрии достигают сотен градусов в абсолютном исчислении. Поэтому сейчас исследования сосредоточены на более совершенных спектральных (многоцветовых) термометрических технологиях, обеспечивающих значительное повышение метрологических характеристик оптической термометрии. Лидирующие позиции по количеству патен-

тов, а также метрологическим характеристикам спектральных термометрических технологий занимает ФТИМС НАНУ.

Идея спектральной симметрично-волновой пирометрии излучения (СВПИ) заключается в использовании установленной авторами корреляции излучательной способности металлических сплавов в конденсированном состоянии, в средней части рабочего спектрального диапазона с ее значениями на симметрично расположенных граничных участках спектра [1].

Симметричное распределение рабочих волн и установленная корреляция обеспечивают априорную информацию об ε_2 через ε_1 и ε_3 . Это позволяет получить обобщающее пирометрическое уравнение (математическую модель) универсальной СВПИ для расчета температуры T термометрируемого сплава через измеренные одноцветовые температуры его излучения S_1 , S_2 и S_3

$$\frac{\lambda_2}{C_2} \ln \left(\frac{\exp(-\frac{C_2(T-S_1)}{T\lambda_1 S_1}) + \exp(-\frac{C_2(T-S_3)}{T\lambda_3 S_3})}{D} \right) - \frac{1}{T} + \frac{1}{S_2} = 0, \quad (1)$$

где D – безразмерный делитель.

Двухцветовая компенсационная пирометрия излучения (ДКПИ) основана на использовании для нахождения температуры T термометрируемого сплава измеренной S_{2u} и зеркальной S'_{2u} двухцветовых температур его излучения [2]. S_{2u} соответствует реальное, например, спадающее, спектральное распределение излучательной способности, а S'_{2u} – зеркально отраженное, т.е. возрастающее. Обобщающее пирометрическое уравнение ДКПИ имеет вид

$$\frac{1}{T} = \frac{\frac{1}{S_{2u}} + \frac{1}{S'_{2u}}}{2} \Rightarrow T = \frac{2}{\frac{1}{S_{2u}} + \frac{1}{S'_{2u}}}. \quad (2)$$

Таким образом, в отличие от классической и известной спектральной термометрии, СВПИ и ДКПИ полностью исключают основную методическую составляющую из погрешностей оптических измерений температуры. При одинаковых модулях и знаках погрешностей измерений исходных одноцветовых температур излучения инструментальные погрешности СВПИ и ДКПИ почти совпадают и практически равны погрешностям измерений одноцветовых температур. В наиболее вероятных условиях промышленных измерений (при различных знаках погрешностей измере-

ний исходных одноцветовых температур излучения и их модулях от 0,2 до 1,0 %) инструментальные погрешности ДКПИ пренебрежимо малы, в то время как погрешности СВПИ превышают 2,9 %, а классической спектрального отношения термометрии достигают 1,7-9,4 %.

Список литературы

1. Жуков Л. Ф., Корниенко А. Л. Патент Украины №76096, МПК G01J 5/00. Способ измерения температуры. Заявл. 29.05.2012; опубл. 25.12.2012, бюл. №24.
2. Жуков Л. Ф., Петренко Д. А., Корниенко А. Л. Патент Украины №116015, МПК G01J 5/00. Способ измерения температуры. Заявл. 20.09.2016; опубл. 10.05.2017, бюл. №9.

УДК 621.74.049

Н. И. Замятин, С. А. Замятин

Одесский национальный политехнический университет, г. Одесса

Р. В. Ермоленко

Бердичевский колледж промышленности, экономики и права, г. Бердичев

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ НАЧАЛА ДЕФОРМАЦИИ СТЕРЖНЕЙ, ИЗГОТОВЛЕННЫХ ЗАМОРАЖИВАНИЕМ

При изготовлении отливок важное значение имеет качество форм, сохранение ею постоянной геометрии. При литье в замороженные формы важно знать начало деформации замороженных стержней, чтоб можно было оценить время, в течение которого необходимо произвести заливку.

Для определения времени начала деформации стержней предложена следующая методика.

Образцы, изготовленные из формовочной смеси для замороженных форм [1], охлаждаются до температуры -60 °С в течении 30 мин. Затем, после извлечения из холодильника, они помещаются на лабораторную установку, где определяется время начала деформации (рис. 1).

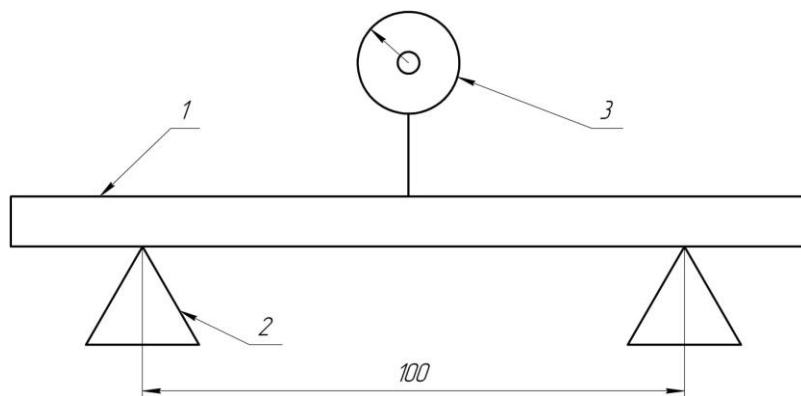


Рис. 1. Схема прибора, для определения начала деформации замороженного стержня: 1 – замороженный стержень, 2 – опора, 3 - микрометр

В качестве исследуемых стержней использовались стержни круглого (диаметр от 5 до 20 мм) квадратного (размер стороны от 5 до 20 мм) и прямоугольного сечения.

Для снижения воздействия на стержень со стороны микрометра, из него удаляется прижимная пружина. Весом иглы при исследовании можно пренебречь.

Полученные данные позволили определить, что при применении стержней малого сечения (5 мм) достаточно времени для сборки и заливки форм до начала их деформации.

Список литературы

1. Замятин Н. И. Технологическая проба для определения влияния противопригарных покрытий низкотемпературных литейных форм на критическое время образования ужимин [текст] / Н. И. Замятин, С. А. Замятин // Материалы XI Международной научно – практической конференции. – Запорожье: ЗТПП, – 2015. – С. 102–104.

УДК 666.974.2:666.762.1

**А. С. Затуловский, Ж. Д. Богатырёва, А. Г. Малявин, А. А. Кузьменко,
В. А. Щерецкий**

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

**ПРИМЕНЕНИЕ ФТОРФЛОГОПИТОВОГО ЛИТОГО МАТЕРИАЛА В УСЛОВИЯХ
АГРЕССИВНОЙ СРЕДЫ ЖИДКИХ ХЛОРИДОВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ И ОЧИСТКИ
ЧЕТЫРЕХХЛОРИСТОГО ТИТАНА**

Камнелитейные материалы содержащие в своем составе синтетические кристаллы фторфлогопита, могут обеспечивать отечественную промышленность новыми конкурентоспособными материалами для коррозионно- жаростойких изделий в цветной металлургии, энергетике, машиностроении, химической промышленности.[1].

Надежность работы одного из основных агрегатов в производстве титана и магния – хлоратора, определяется такими конструкционными узлами, как хлорные фурмы для подачи хлора в хлоратор и сливные летки. Применяемые для их футеровки шамотные огнеупорные изделия вовремя работы пропитываются расплавом хлоридов, разрушаются и для дальнейшей эксплуатации хлоратора необходим горячий ремонт футеровки [2].

Для защиты чугунных хлоропроводов фурм были изготовлены фасонные камнелитые фторфлогопитовые детали. Установку фурм с фторфлогопитовой футеровкой в хлоратор осуществляли на диабазовом растворе, толщина слоя которого составляла 2-3 мм. Хлоратор эксплуатировался 28 мес. За время опытного испытания хлоратор отработал штатно, безаварийно. После плановой остановки на ремонт, фторфлогопитовые изделия - камень фурмы и камень летки были извлечены для исследований.

Визуальный осмотр изделий после испытания показал, что конфигурация и габаритные размеры не изменились. Материал изделий окрашен в желтовато-бурый цвет. Растворения, разрушения структуры материала не наблюдается. Петрографическим анализом установлено, что фазовый состав материала не изменился и содержит мас. %: фторфлогопита -85-90, энстатита -5-7, стеклофазы -8-10. Исследование термостойкости и прочностных свойств исходного материала и после испытаний показало, что их общий уровень остался неизменным.

Таким образом, результаты опытных испытаний в реальных промышленных условиях показали высокую коррозионную и химическую стойкость камнелитого фторфлогопитового материала. Высокая устойчивость структуры и кристаллов фторфлогопита в высокотемпературной газообразной и жидкой среде хлоридов свидетельствует, о надежной работоспособности фторфлогопитового каменного литья в условиях промышленного получения и очистки четыреххлористого титана.

Применение камнелитых изделий дало возможность разработать бездиафрагменный магниевый электролизер, оснащенный камнелитыми переточными каналами и изделиями защиты катодов и угловой футеровки – наиболее подверженных коррозионному разрушению элементов. Промышленное внедрение новых электролизеров позволило увеличить выпуск магния, в 10 раз снизить потери хлора. При этом значительно уменьшились затраты на улавливание и очистку хлорсодержащих газов, резко сократились выбросы в окружающую среду. Срок службы электролизеров увеличился на 25-30 %. Кроме того, увеличился срок службы и продуктивность титановых хлораторов на 20 %. В следствие высокой структурной плотности и отсутствия канальной пористости в литом материале, изделие не пропитывается электролитом, в течение всего периода эксплуатации, а механическая прочность, термостойкость и электросопротивление материала сохраняет исходное значение. Коррозионное разрушение материала камнелитых изделий, проработавших в магниевом электролизере в течении 47 месяцев полностью отсутствует.

Применение камнелитых фторфлогопитовых изделий в промышленности позволяет создавать новые установки и агрегаты, разрабатывать новые технологические процессы, повышать срок службы оборудования, сокращает материальные и эксплуатационные затраты на содержание и ремонт оборудования, повышать качество продукции.

Список литературы

1. Авторское свидетельство СССР № 992446 «Каменное литье».
2. Чесноков А.С. и др. Стойкость огнеупорных материалов в расплавах магниевых электролизеров // Новые огнеупоры.-2005.-№5.- С. 22-24.

УДК 621.74.074:743.45

А. С. Затуловский, В. А. Щерецкий, В. А. Лакеев

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

УПРОЧНЕНИЕ ПОВЕРХНОСТИ СТАЛЬНЫХ ТРИБОДЕТАЛЕЙ МАКРОВСТАВКАМИ

Литые макрогетерогенные композиционные материалы (ЛКМ) на основе медных сплавов, армированных стальными гранулами, зарекомендовали себя как надежный и долговечный компонент в высоконагруженных и абразивно устойчивых узлах трения. Они обладают повышенной износостойкостью и долговечностью в сравнении с традиционными антифрикционными материалами. Однако в некоторых случаях изготовление деталей трения полностью из композиционного материала не рационально и дорого.

Разработан и опробован технологичный и малозатратный метод получения композиционной рабочей поверхности стальных деталей триботехнического назначения с повышенной износостойкостью. Метод представляет собой комбинацию последовательно заданной механической обработки поверхности и наплавки на нее износостойких сплавов и (или) армирующих элементов. В качестве легкоплавкого наплавочного антифрикционного материала применяли Cu, Sn, их сплавы и др. В качестве поверхностных армирующих элементов использовали проволоку из W, Mo, легированной стали и др.

Поверхностный композиционный слой получали таким образом: на предварительно подготовленную поверхность стальной детали (заготовки) с помощью механического инструмента наносили углубления до 2,0 мм и затем заплавляли их указанным выше легкоплавким материалом. В этом случае поверхностный композиционный слой состоял из материала детали (заготовки) и антифрикционной легкоплавкой составляющей. По второму варианту на поверхность в углубления укладывались армирующие сетки, проволоки и заплавлялись легкоплавким материалом. В этом случае поверхностный композитный слой состоял из армирующих вставок и антифрикционной легкоплавкой составляющей. После наплавки поверхность изделий подвергали окончательной механической обработке до требуемых размеров и толщины композиционного слоя.

Рисунок мозаики поверхности (расположение и размерные параметры армирующих проволок) устанавливали в зависимости от условий нагружения трением скольжения. Например, перпендикулярно к направлению сил трения.

Триботехнические испытания провели на машине трения, работающей по системе возвратно-поступательного движения при нагрузке 3,0 кг, скорости движения элементов 40 метров в минуту в режиме сухого трения скольжения в течение 2400 с. Потери веса определяли с точностью до 10-5 грамм. Испытания показали, что износостойкость лучших вариантов образцов с поверхностным композиционным слоем в 20-30 раз выше, чем стали, на порядок выше, чем латуни и в 1,5-2 раза выше, чем литого композиционного материала (ЛКМ) на основе латуни, армированного стальной дробью (Таблица).

Таблица. Результаты сравнительных испытаний на трение наплавленных образцов

№	Образец	Потеря веса, г
Без обработки		
1	Стальной Ст. 3	0,12960
2	Латунный	0,02400
3	Композиционный литой	0,00675
Образцы из стали Ст. 3 с композитной поверхностью		
4	Наплавка латунью	0,01855
5	Наплавка оловом	0,00665
6	Олово + ст. проволока	0,00950
7	Латунь + ст. проволока	0,00430
8	Латунь + проволока из вольфрама	0,00430
9	Латунь + проволока из молибдена	0,00285

Следует отметить, что создание поверхностного композиционного слоя на детали (заготовке) позволяет значительно экономить дорогостоящие и дефицитные цветные сплавы, получить экономию за счет увеличения долговечности работы оборудования без остановок на ремонт или замену узлов трения. Для осуществления технологии не требуется специальное, сложное технологическое оборудование, организация получения высокоизносостойких стальных и др. изделий с упрочненной поверхностью возможно практически на любом производственном участке.

УДК 621.74.074

А. С. Затуловский, В. А.Щерецкий, М. М.Ивашина

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЛИТЫХ
АЛЮМОМАТРИЧНЫХ КОМПОЗИТОВ**

Расширения объемов применения в промышленности перспективных композиционных материалов на металлической основе, армированных тугоплавкими частицами, волокнами и другими элементами сдерживает их более высокая стоимость, усложнение технологии получения из них изделий, неравномерность распределения армирующих частиц, недостаточное сцепление с матричным сплавом. Для решения указанных проблемных технико-коммерческих вопросов использовали метод так называемого реакционного литья (in-situ) суть которого заключается в армировании матричного сплава тугоплавкими дисперсными частицами, выделившимися спонтанно в процессе кристаллизации расплава.

Для получения эндогенных экономноармированных КМ был выбран в качестве основы алюминиевый поршневой сплав АЛ25, в который поле расплавления вводили дискретные элементы бронзы различных марок (ОЦС 5-5-5, КМц 3-1, БрАЖ 9-4), предварительно упакованные в алюминиевую фольгу. Затем расплав нагревали до температуры 720°C и выдерживали 2-5 мин до полного растворения компонентов. Основное правило: содержание меди в расплаве должно быть выше предела ее растворимости (5,7%) в алюминиевом сплаве при температурах 500-550°C. Литые композиционные материалы (ЛКМ), кроме прочности, пластичности, стойкости к внешним воздействиям, должны иметь свойства, которые позволяют получать плотные достаточно сложные по конфигурации отливки. Поэтому одним из основных критериев выбора материала для матриц ЛКМ являются литейные свойства гетерофазных расплавов. Таким образом, технологические качества КМ большей степенью определяются жидкотекучестью выбранного сплава. Чем выше показатели жидкотекучести, тем плотнее отливка ЛКМ и лучше ее физико-механические характеристики. Для определения жидкотекучести полученный КМ заливали в металлическую U-образную пробу Нехендзи-Купцова. Исследования показали, что новые экономноармированные композиты имеют жидкотекучесть в 3 раза выше, чем исходный алюминиевый сплав.

В процессе кристаллизации расплава за счет выделения избыточной меди, вследствие снижения ее растворимости в матричном расплаве, и др. элементов формируются дисперсные интерметаллиды, образуя гетерофазные системы (ЛКМ – in-situ) типа алюминий – интерметаллид сложного состава. Изучение структуры полученных композитов показало, что при вводе дискретных элементов бронз расплав алюминия кристаллизуется с образованием дисперсных фаз в виде тройных и четверных соединений систем типа Cu-Fe-Si, Cu-Fe-Mn-Si с повышенным содержанием меди (20%) и железа (23%), а также CuAl_2 .

Испытания материалов на износостойкость производились по пальчиковой схеме на машине трения МТ-68, контртелом служила сталь 65Г. Эксперименты проводили при скорости скольжения 2 м/с, нагрузке 5, 10, 20, 30 кг с использованием в качестве смазки масла И-20, продолжительность каждого испытания составляла 4 часа. Перед испытаниями материалы подвергались термической обработке (искусственное старение по режиму Т6). Исследования показали, что полученные композиционные материалы, включающие в качестве армирующей фазы интерметаллиды, имеют более высокую износостойкость, чем исходный алюминиевый сплав. Наибольшей износостойкостью при повышенных нагрузках обладал композиционный материал, имеющий в структуре два вида интерметаллидов в виде тройных и четверных соединений систем Cu-Fe-Si, Cu-Fe-Mn-Si. Исследование ТКЛР проводили на дилатометре типа ДВК. Опыты выполняли в динамическом режиме при скорости подъема температуры 4-50/мин. Установлено, что ТКЛР полученных эндогенных композитов на 10-15% ниже, чем исходного поршневого алюминиевого сплава. Увеличение трибохарактеристик и ТКЛР важно для продления срока службы трибоизделий из алюминиевых сплавов.

Представленные результаты показывают, что разработанные литые экономноармированные композиционные материалы являются перспективными для использования в качестве деталей шатунно-поршневой группы автомобилей, тракторов и других трибодеталей с целью повышения их надежности и долговечности.

УДК 621

Л.С. Золотар, О.В. Акімов, Ю.В. Орендарчук, Г. Г. Ідріс

Національний технічний університет

«Харківський політехнічний інститут», м. Харків

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЗМУ УТВОРЕННЯ ГАЗОУСАДКОВИХ ДЕФЕКТІВ В ЛИТИХ ПОРШНЯХ ДВЗ З ВИКОРИСТАННЯМ КОМП'ЮТЕРНО – ІНТЕГРОВАНИХ СИСТЕМ МОДЕЛЮВАННЯ

Найбільш важливою вимогою при отриманні якісних литих поршнів визначеної геометричної конфігурації на початкових етапах їх виготовлення є мінімальна наявність таких дефектів як усадкові рихлоти, раковини та газова пористість.

Для моделювання процесу кристалізації литого поршня була обрана ІКС LVM Flow 2.91. Створення 3D-моделі виконувалось з врахуванням вимог до виливків, що виготовляються в кокілях з застосуванням можливостей програм Solid Works та LVM Flow. Як досліджувана деталь для комп'ютерно – інтегрованого моделювання був взятий поршень Д 240-1004021.

Для прогнозування мікропористості та газоусадкової пористості використовується критерій Niyama, що показує направленість процесу кристалізації і є надійним інструментом для виливків. У випадку виливків зі складною геометрією його використання потребує більш ретельного аналізу результатів моделювання.

Температурний градієнт обчислюється при затвердінні в кожному вузлу виливка при проходженні точки Niyama на кривій охолодження. Нульове значення даного параметра свідчить про відсутність направленої кристалізації в локальному об'ємі і підвищеній небезпеці виникнення пористості.

Аналіз місць розміщення дефектів показав, що найбільш можливим є утворення усадкових дефектів в масивах:

- бобишки під пальцевим отвором з величиною області розсіювання газоусадкової пористості $1 - 1,5 \text{ мм}^2$;
- днища поршня під камерою згорання з величиною області розсіювання газоусадкової пористості $0,6-0,8 \text{ мм}^2$;
- переходу від корпусу поршня до днища, в середині деталі з величиною області розсіювання газоусадкової пористості $0,6-0,8 \text{ мм}^2$.

УДК 669.132

В. Г. Іванов

Запорізький національний технічний університет, Запоріжжя

ВПЛИВ ГАЗОНАСИЧЕНОСТІ НА СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ ЧАВУНІВ

При виплавці технічних чавунів відбувається їх активна взаємодія з газовою пічною атмосферою. Відповідно, газові домішки можуть активно впливати на процеси структуроутворення чавунів та рівень їх фізико-механічних властивостей. Але в практиці ливарного виробництва контролю газів у чавунах на відміну від сталей не приділяють значної уваги.

Вивчали вплив вмісту газів на структуроутворення чавунів різних типів (білого, сірого, ковкого, високоміцного), що були виплавлені у різних плавильних агрегатах (вагранках, дугових і індукційних печах). Контроль газів виконували методом плавлення в атмосфері інертних газів на приладах LECO. Металографічні дослідження проводили з використанням оптичних мікроскопів MIM-8M та Zeiss Axiovert 200 MAT. Мікрорентгеноспектральний аналіз проводили за допомогою електронного растрового мікроскопу SUPRA 40 WDS (Karl Zeiss). Петрографічні дослідження виконували у відбивному світлі на мікроскопі МБІ-6 та у прохідному світлі на кристалооптичному мікроскопі МІН-8 з використанням стандартних наборів імерсійних рідин.

Встановлено, що найбільшу концентрацію у чавунах з усіх газів має азот: 0,01 – 0,016 % у білих і ковких та 0,005 – 0,008 % у сірих. Причому менші значення концентрації азоту відповідають умовам індукційної плавки. Водень у всіх чавунах мав найменший вміст і не перевищував 0,0003 %. Газонасиченість чавуну помітно змінюється при тривалому високотемпературному відпалі білого чавуну на ковкий, при цьому збільшується вміст кисню (до 0,003 %) та азоту (до 0,016 %), а вміст водню навпаки різко знижується. Загальний вміст кисню у чавунах був також невеликим (0,006 – 0,002 %). Найбільші значення відповідають білому чавуну, менші — чавунам з графітною фазою. Як і слід було очікувати, вміст кисню у чавунах суттєво зменшується при модифікуванні магнієм і зміні пластинчастої морфології графіту на кулясту.

Таким чином підтверджується тенденція, що між вмістом газів (особливо киснем) і формою вкраплень графіту існує взаємозв'язок. При чому, проявляється загальна тенденція зменшення кількості газів при збільшенні компактності вкраплень графіту.

Локальний мікрорентгеноспектральний аналіз показав, що кисень головними чином, концентрувався у графітовій фазі (до 7% у пластинчатих та до 3,5% у кулястих вкрапленнях), а у металевій матриці був майже відсутній. Це опосередковано може підтверджувати припущення про вибірккову адсорбцію атомарного кисню на призматичних гранях кристалів графіту. Інших газів у графітовій фазі не виявлено.

Встановлено, що при високій температурі (1300-1360 ° C) у сірих чавунах кремній досить активно взаємодіє з окисом вуглецю. В результаті такої взаємодії утворюється пароподібний поверхнево-активний монооксид кремнію (SiO) і первинні кристали графіту. За кольором і відбивною здатністю вони дуже близькі, і тому погано розрізняються на шліфах у відбивному світлі. У прохідному світлі, SiO досить легко ідентифікується за характерним буро-червоним забарвленням і високим показником світлопереломлювання ($N_q = 2,15$ і $N_p = 2,06$).

Аналогічні результати отриманні і для кулястого графіту. При модифікуванні чавунів магнієм також утворюються з'єднання зниженої валентності. Взаємодія магнію з окисом вуглецю відбувається дуже бурхливо з утворенням газових бульбашок. У прохідному світлі виявлений субоксид магнію (Mg_2O), що складав оболонку газових бульбашок, у яких сформувалися вкраплення графіту кулястої форми. Субоксид магнію був світло-сірого кольору зі слабким зеленуватим відтінком, напівпрозорий, ізо-тропний, що мав показник світлопереломлення $N=1,770$ та вище. На відміну від субоксиду, окис магнію (MgO) відрізняється кубічною кристалічною структурою, був прозорий, ізотропний, з показником світлопереломлення $N=1,737$, що відповідає стехіометричному складу та легко визначається у прохідному світлі.

Таким чином, проведеними дослідженнями встановлено, що з усіх газів, що присутні у чавунах, найбільшу роль у формуванні структури і, особливо, графітної фази має кисень. Внаслідок наявності у чавунах елементів з високою спорідненістю до кисню (кремнію, магнію, алюмінію та ін.) утворюються окисли зниженої валентності (субокисли або субоксиди). Останні приймають активну участь у формуванні вкраплень графіту та його морфології у чавунах.

УДК 621.745

Л. Х. Іванова, Я.В. Лутченко

Національна металургійна академія України, м.Дніпро

РОЗРОБКА СПОСОБУ ЛИТТЯ ПРОКАТНИХ ВАЛКІВ ІЗ ЧВГ

Теперішнього часу відомо декілька тисяч модифікуючих добавок, призначених для позапічного оброблення чавунних розплавів. Так, відомі способи лиття прокатних валків [1.2], за якими модифікування чавунного розплаву здійснюють магнієм або лігатурами, що містять магній, або комплексним модифікатором на основі рідкісноземельних елементів, в ливарному ковші та додатково передбачають вторинне модифікування введенням на струм графітизуючих модифікаторів. Недоліком цих способів є наявність у робочому шарі та серцевині таких валків великої кількості неметалевих включень, що зменшує міцнісні властивості матеріалу валків.

Метою роботи була задача підвищити міцність валкового чавуну та одержати оптимальну перехідну зону у прокатному валку. Технічний результат полягає в тому, що за пропонованим способом вторинне модифікування сумішшю з феросиліцію та модифікатору для виливків із чавуну на основі магнію, кремнію та заліза розплаву буде сприяти підвищенню міцності чавуну прокатного валка за рахунок зміни форми включень графіту та підвищення дисперсності перлітної складової у його структурі, а також одержанню оптимального діапазону розмірів перехідної зони прокатного валка.

Особливістю макроструктури прокатних валків по глибині бочки є наявність трьох макрозон: робочий (поверхневий) шар з білого або половинчастого чавуну – 20-35 мм, перехідна зона – 40-60 мм та центральна частина (чавун перлітографітного класу). Якість прокатних валків залежить від величин протяжності робочого шару та перехідної зони. Глибина робочого шару у пропонованому способі забезпечується модифікуванням рідкісноземельними металами. Для регулювання глибини перехідної зони рекомендується вторинне модифікування механічною сумішшю з феросиліцію та модифікатору для виливків із чавуну на основі магнію, кремнію та заліза (марки КМг2 ДСТУ 3362-96) у співвідношенні 1:1. При додаванні суміші менше за 0,6% від маси розплаву перехідна зона збільшується, що у ряді випадків призводить до зниження міцності при вигині матеріалу валка та до його зламу. Збільшення ж присадки суміші більше за 0,8% від маси розплаву зменшує глибину перехідної зони й може привести до повного її зникнення, що визиває відшарування робочого шару

під час експлуатації валка. Таким чином, виходячи з надійності одержати глибину перехідної зони строго регламентованих розмірів та підвищену міцність серцевини та шийок валка вторинне модифікування необхідно проводити застосовуючи 0,6-0,8% від маси розплаву механічної суміші з феросиліцію та модифікатору для виливків із чавуну на основі магнію, кремнію та заліза у співвідношенні 1:1.

У лабораторних та промислових умовах встановили параметри запропонованого способу обробки чавуну. Плавку здійснювали в індукційній печі промислової частоти ІЧТ-6. Як шихтові матеріали застосовували: лом прокатних валків, ливарні чавуни, сталевий лом, феросплави. Як модифікатори використовували для первинного модифікування лігатуру на основі рідкісноземельних металів марки СРЗМ30, а для вторинного модифікування – феросиліцій марки ФС75 та модифікатор для виливків із чавуну марки КМг2. Для заливання валкових форм використовували ківш місткістю 10 т. Чавунний розплав з температурою $1410 \pm 5^\circ\text{C}$ з печі випускали у ливарний ківш, на дно котрого завантажували необхідну кількість подрібненої (фракція 70-90 мм) лігатури. Після витримки протягом 5-10 хв. розплав заливали у ливарну форму до надливу та робили витримку протягом 3-4 хв. Далі продовжували заливання та на струм розплаву вводили необхідну кількість вторинного модифікатора (фракції 10-15 мм). Випробовування проводили на зразках, вирізаних при механічному обробленні валків. Міцність при вигині та мікроструктуру чавунів досліджували за стандартними методиками.

В результаті проведених досліджень було встановлено, що рівень міцності при вигині валкового чавуну підвищився на 3-5 %, а діапазон глибини перехідної зони збільшився з 10 до 16 мм.

Список літератури

1. А.с. 692680 СССР, МКИ В22D 25/00. Способ отливки прокатных валков/ А.Н. Слюсарь, Н.С.Козаченко, Р.Л. Билярчик, Л.Б. Гольдштейн, А.Я. Дзюба (СССР).– № 2611447/22-02; заявл. 03.05.78; опубл. 25.10.79, Бюл. 39.

2. Пат. 93800 Україна, МПК(2011.01) В22D 25/00. Спосіб лиття прокатних валків з чавуну з вермикулярним графітом / В.Є. Хричиков, Л.Х. Іванова, Є.В. Колотило, І.В. Шляпін, А.В. Хазанов, І.В. Івонін (Україна); заявник та патентовласник НМетАУ.– № 200913016; заявл. 14.12.09; опубл. 10.03.11, Бюл. №5.

УДК 621.785.5: 621.9.048.7

Idan Alaa Fadhil Idan¹, O. V. Akimov², K. O. Kostyk²

¹The University of Technology, Iraq

²National Technical University

«Kharkiv Polytechnic Institute»

SURFACE HARDENING OF STEEL PARTS

Surface destruction of machine parts leads to failure of machine mechanisms. The reasons for this are wear parts during operation. Particularly negative impact on the surface of the product has abrasive wear. The reasons for this are the friction processes of a harder material or its individual particles on the surface of the parts. The material of the majority of machine parts used on real objects are ferrous metals, namely steel.

The purpose of this work is the study of process of obtaining a hard coating on the surface of steel products.

Experimental investigations were carried out on samples of steel 38Cr2MoAl. Laser treatment of steel was carried out at the installation "Latus-31". Boriding was carried out in a powder medium with microfine boron-containing substance and activators.

It was established that after laser treatment the grinding of the grain structure of the surface layers of steel 38Cr2MoAl. At the same time, the thickness of the hardened layer by the laser varies in the range from 0.2 to 0.41 mm, depending on the change in the speed of movement of the laser beam (from 1.5 to 0.5 m/min, respectively).

Subsequent boriding gave the opportunity to obtain a greater layer of borides with a thickness up to 0,140 mm and a microhardness of up to 22.5 GPa, in comparison with boriding without prior laser treatment that provides hardness up to 20 GPa with a depth of layer up to 0,073.

Similar results were obtained for other carbon and alloy steels. Proposed surface hardening enhances the durability of the parts to the abrasive wear by getting the very hard surface layer.

УДК 536.717:532.739.2

В. В. Каверинский, З. П. Сухенко

Институт проблем материаловедения НАН Украины, Киев

О КОМПЬЮТЕРНОМ ИССЛЕДОВАНИИ ВЛИЯНИЯ РАЗМЕРОВ, ФОРМЫ И ПОРИСТОСТИ МАГНИЙСОДЕРЖАЩИХ БРИКЕТОВ НА ВРЕМЯ ИХ ЛАВЛЕНИЯ ПРИ МОДИФИЦИРОВАНИИ ЧУГУНА

Известно, что одним из эффективных способов модифицирования чугуновых изделий магнием является помещение в реакционную камеру в inmold-процессах компактированных магнийсодержащих лигатур в виде брикетов, полученных методом порошковой металлургии. Существует способ внутри inmold-модифицирования, при котором заливаемый металл проходит каналы литниковой системы и реакционную камеру, и попадает в полость формы. Проходя через реакционную камеру, расплав подвергается равномерной модифицирующей обработке.

Нами рассмотрено моделирование технологии inmold-модифицирования, при которой в реакционную камеру помещается кольцевой брикет. Для моделирования был взят чугун с химическим составом, приведенным в таблице 1. Химсостав магнийсодержащих брикетов приведен в таблице 2. Брикет был различной пористости 0 %, 10 %, 20 % и 30 %.

Таблица 1 – Химический состав чугуна (масс. %)

Fe	C	Si	Mg	Cr	Ni	P
основа	3,27	1,86	0,68	0,12	0,33	0,12

Таблица 2 – Химический состав брикетов модификатора (масс. %)

Cu	Fe	Mg
50,0	43,0	7,0

Учёт влияния пористости проводился по формуле

$$\lambda_{эф} = \lambda_0 \cdot (1 - \theta) \cdot \left(1 + \frac{1}{2} \cdot \theta\right)^{-1},$$

где: λ_0 – коэффициент теплопроводности плотного материала, Вт/м·К;
 θ – объёмная доля пор в материале.

Рассматривались следующие формы брикетов модификатора: внешний диаметр 40 мм, высота 20 мм, верхний диаметр отверстия 20 мм, нижний 34 мм (фор-

ма-1); внешний диаметр 40 мм, высота 20 мм, диаметр отверстия 24 мм (форма-2); внешний диаметр 40 мм, высота 30 мм, диаметр отверстия 29 мм (форма-3); внешний диаметр 40 мм, высота 15 мм, диаметр отверстия 18,7 мм (форма-4). Результаты моделирования представлены на рисунке.

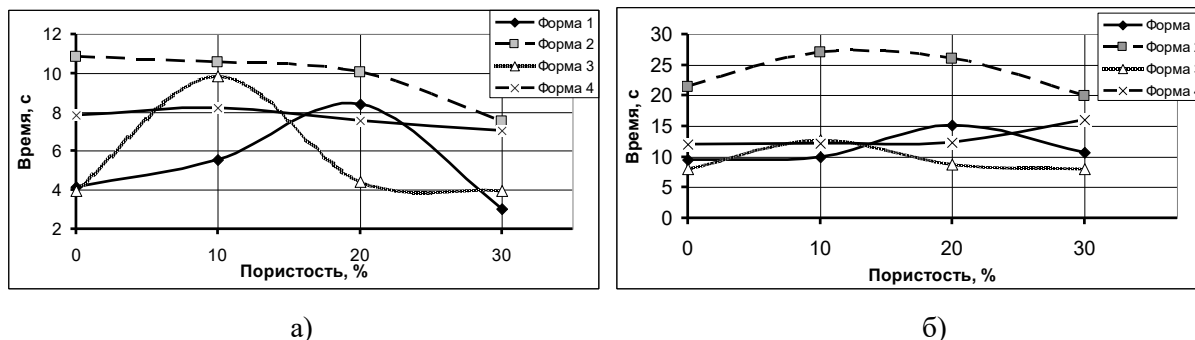


Рис. Обобщённые результаты моделирования: а) влияние формы и пористости брикета на время от первого контакта с металлом до начала плавления; б) влияние формы и пористости брикета на время от первого контакта с металлом до полного расплавления брикета.

Полученные результаты свидетельствуют о сложном и нелинейном характере влияния пористости на растворение брикета, зависящем от его исходной формы. Оптимальной является форма с коническим каналом, обеспечивающая достаточно быстрое растворение и при беспористом материале, и при значительной (30 %) пористости. Наиболее быстрое растворение с минимальным формированием наможенного слоя обеспечивает тонкостенная вставка с цилиндрическим каналом, но она сильно подвержена неоднозначному влиянию пористости. Наименьшее влияние пористости брикетов на все рассмотренные характеристики наблюдается для короткой вставки-шайбы с узким каналом.

Список литературы

1. Гималетдинов Р. Х. Обработка чугуна магнием с использованием брикетированных металлических порошков / Р. Х. Гималетдинов, В. Я. Куровский. // Вестник машиностроения. – 2000. – №3. – С. 41 – 42.
2. А. с. 692857 СССР, МКИ2 С 21 С 1/00. Графитизирующий модификатор для обработки серого и высокопрочного чугуна / Н. И. Кобелев, И. А. Дибров, А. В. Козлов, Т. З. Наджмуудинов, Б. Л. Постыляков (СССР). – 2509865/22-02 ; заявл. 15.07.77 ; опубл. 25.10.79, Бюл. № 39.

3. Скороход В. В. Избранные труды. Теория физических свойств пористых и композиционных материалов и принципы управления их микроструктурой в технологических процессах. // В. В. Скороход, Киев, С. 287 – 305. Порошковая металлургия, 1995, № 1/2.

УДК 621.74

П. Б. Калюжный, С. О. Кротюк

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

ОПТИМИЗАЦИЯ ЛИТНИКОВОЙ СИСТЕМЫ ОТЛИВКИ «КОРПУС ВЕНТИЛЯ» С ПОМОЩЬЮ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Все более широкое распространение в Украине и мире приобретает способ литья по газифицируемым моделям (ЛГМ), который используется для производства широкой номенклатуры отливок, включая особо ответственные детали, в число которых входит трубопроводная арматура. ЛГМ позволяет получать стальные арматурные отливки высокого качества и с необходимым уровнем свойств [1]. Однако получение годных качественных отливок возможно лишь в случае правильно спроектированной литниково-питающей системы.

Устройство литниковой системы оказывает основное влияние на процесс заливки формы сплавом, во время которого происходит газификация пенополистироловой модели и замещение ее сплавом. Неправильная конструкция литниковой системы может привести к замешиванию полистирола и газов от его разложения в жидкий металл, что впоследствии вызывает образование различных дефектов в теле и на поверхности отливки.

Стоящим помощником на этапе разработки литниково-питающих систем являются системы компьютерного моделирования литейных процессов, поскольку позволяют «опробовать» различные варианты технологии без затрат энергии и материалов. Однако не все существующие программы могут моделировать ЛГМ, а моделирование заливки без учета полистироловой модели дает неправильные результаты.

Для проектирования литниковой системы отливки, изготавливаемой по газифицируемым моделям, нами совместно с индийскими коллегами была успешно использована программа Flow-3D Cast. Объектом проектирования являлась отливка

«корпус вентиля ДУ80» из стали 20Л массой 19,7 кг. Нами был разработан первоначальный вариант литниковой системы, который включал подвод металла снизу во фланцы корпуса через два питателя, поскольку для ЛГМ стальных отливок наилучшим является сифонный подвод металла, который обеспечивает меньшее взаимодействие расплава с продуктами разложения модели. Также для предупреждения попадания шлаковых частиц в тело отливки в канале литниковой системы предусматривался пенокерамический фильтр.

Построенная в CAD-системе твердотельная модель отливки с литниковой системой передавалась в программу Flow-3D Cast. Необходимые для моделирования данные – свойства стали, пенополистирола и кварцевого песка были выбраны из базы данных. Температура заливки стали задавалась 1580 °С, начальная температура формы – 20 °С.

Полученные результаты показали, что заполнение формы происходило неравномерно. Сначала в большей мере заполнялись фланцы, а потом уже металл поступал к центральной части отливки. Такой характер заполнения не отвечал идеи равномерной газификации модели, что прогнозировало образование дефектов в виде неспаев и газовых раковин. Для выравнивания фронта заливки был добавлен третий питатель в центральную часть отливки. Моделирование второго варианта показало, что заполнение происходит более равномерно, однако в этом варианте большая часть металла проходила через добавленный третий питатель, поскольку на коллекторе он располагался ближе к стояку, чем два остальные. Чтобы полностью выровнять фронт подъема металла площадь сечения третьего питателя была уменьшена на 25%.

Кроме гидродинамических и усадочных процессов Flow-3D Cast позволяет прогнозировать образование поверхностных дефектов, связанных с захватом жидких и газообразных продуктов разложения пенополистирола. Результаты расчета полей поверхностных дефектов показали, что с добавлением третьего питателя количество дефектов на поверхности отливки «корпус вентиля» значительно уменьшилось, в сравнении с первым вариантом литниковой системы.

Компьютерное моделирование в системе Flow-3D Cast позволило для отливки «корпус вентиля» оптимизировать литниковую систему, которая обеспечила спокойную и равномерную заливку сплава по всему сечению отливки и с минимальным образованием поверхностных дефектов.

Список литературы

1. *Калюжный П.Б., Кротюк С.О., Левчук М.Т.* Технологические процессы получения стальных литых изделий для запорной трубопроводной арматуры по газифицируемым моделям // *Литье и металлургия.* – 2018. – №1 (90). – С. 22-27.

УДК 621.745.4

В. П. Каргинов, В. Г. Иванов

ООО «НПП «СОЮЗ», Днепропетровск

Запорожский национальный технический университет, Запорожье

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ДОБАВКИ ООО «НПП «СОЮЗ» ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КОНКУРЕНТНОСТИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ И ЛИТЕЙНОЙ ПРОДУКЦИИ

Современное литейное производство все острее испытывает конкуренцию со стороны других способов изготовления металлических изделий (бурно развивающихся современных технологий металлообработки, быстрого прототипирования, 3D-печати и др.). Совершенствование технологических процессов изготовления отливок и слитков путем использования специальных технологических добавок, оптимизирующих свойства формовочных смесей и жидкого металла, улучшающих их служебные и технологические свойства, а также повышающих выход годного и качество литья, позволяет литейному производству быть рентабельным и оставаться основной заготовительной базой машиностроения.

Сотрудниками ООО «НПП «Союз» разработано и непрерывно совершенствуются около трех десятков вспомогательных материалов для литейного производства и металлургии.

Так, для раскисления стали - важнейшей операции при ее выплавке, способствующей снижению содержания кислорода в металле - был разработан пакетированный раскислитель МК21рс. Он предназначен для диффузионного раскисления сталей в дуговых печах и установках печь-ковш взамен традиционной смеси молотого ферросилиция, коксика и алюминиевого порошка. Содержит металлический кремний, электрокальцинированный углерод и ПАВ. Ультрадисперсные компоненты, входящие в состав МК21рс, обеспечивают эффективное диффузионное раскисление металла и более низкий, по сравнению с традиционной смесью, расход.

Для снижения вязкости шлаков и уменьшения температуры их плавления при выплавке стали применяют плавиковый шпат. Однако его применение зачастую связано с агрессивным воздействием на футеровку печи и снижением ее стойкости. Кроме того, что плавиковый шпат является относительно дорогостоящим компонентом. Разработанная комплексная смесь СК-1р, получившая название «Ликвос», показала свою эффективность разжижения основных шлаков при выплавке углеродистых, низколегированных и сложнелегированных сталей, взамен плавикового шпата. Применение присадки СК-1р «Ликвос» на ряде отечественных и зарубежных литейных предприятий позволило обеспечить наиболее благоприятные условия для проведения необходимых сталеплавильных процессов в дуговой электропечи с наивысшими технико-экономическими показателями.

Одним из наиболее перспективных способов повышения технологического выхода годного при производстве отливок и слитков является использование теплоизолирующих и экзотермических смесей для прибылей. Это позволяет снизить объем прибылей, повысить эффективность их работы, увеличить плотность и герметичность отливок.

НПП СОЮЗ производит экзотермические (СК-4 «Термит-2») и теплоизолирующие (СК-3 «ТИС») смеси для открытых прибылей, а также специальные фасонные изделия для открытых и закрытых прибылей - экзотермические вставки. Например, применение экзотермических вставок для отливок железнодорожного назначения показало повышение выхода годного до 72-82 %. Экономия металла на прибылях для массивных отливок из высокомарганцевой стали 110Г13Л (передней стенки ковша экскаватора ЭКГ-5, зуба ковша, конусов дробящих и др.) достигала в определенных случаях 40 – 50 %.

Кроме того, НПП СОЮЗ производит множество других давно популярных материалов:

- науглераживатели для синтетического чугуна и стали (МК-91);
- добавки, снижающие отбел (МК-21г) и пригар чугуновых отливок (МК-10л «Контрасанд»), облегчающие трудоемкие операции по скачиванию шлака в индукционных печах (СК-1) или выбивку отливок из песчано – жидкостекольных смесей (СК-3);
- покровно-рафинирующие флюсы («Щит», «Шлем» и др.) и дегазирующие добавки для цветного литья.

Технологические добавки производства ООО «НПП "СОЮЗ"» с успехом применяются на предприятиях Украины, Беларуси, Казахстана, Болгарии, ЮАР и других

стран. Указанные материалы производятся в соответствии с нормативно-технической документацией Украины или по заявке потребителей. Поступают к заказчику в полностью готовом к использованию виде и в согласованном порционном количестве.

УДК 621.74.045

С.И. Клименко, О.А. Яковышин, Ю.А. Липецкая, В.А. Маляр

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

ГРАФИТИЗИРУЮЩИЕ БРИКЕТЫ ИЗ ОТХОДОВ ЛИТЕЙНОГО И МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВ.

Прогрессивное накопление значительных объемов полимерных отходов существенно ухудшает экологическую ситуацию окружающей среды. Свою “лепту” в создавшееся положение вносит и технология литья по газифицируемым моделям (ЛГМ), в которой недостаточно отработан вопрос утилизации. Обрезки плит строительного пенополистирола, применяемого, в основном, для изготовления моделей литников и крупных моделей мелкосерийных партий отливок, брак моделей, получаемых спеканием подвспененных гранул в пресс-формах — все это подлежит повторному использованию. Одним из путей переработки пенополимеров является растворение их в органических низкомолекулярных углеводородах, в частности, в живичном скипидаре и применение полученного раствора в качестве связующего.

Повысить экономические показатели процесса утилизации полимерных отходов можно за счет использования стружки, получаемой в результате обработки графитовых электродов и фасонных изделий. Решение поставленной задачи может идти в направлении изготовления карбюризирующих брикетов. Введением карбюризаторов в расплав осуществляют корректировку содержания углерода, раскисление, промывку ванн плавильных агрегатов от газов и неметаллических включений.

В рамках представленной работы измельченные графитовые отходы просеивали, отбирали фракцию до 1,5 мм и замешивали в вытяжном шкафу в течение 5 минут со связующим, в качестве которого использовали 40 %-ный раствор отходов пенополистирола в живичном скипидаре, являющийся оптимальным с позиций как содержания жидкой фазы в смеси так и приемлемой вязкости. Раствор заданной

концентрации приготавливали в мерной прозрачной емкости с введением необходимого количества растворителя и постепенным и многократным погружением в него рассчитанного количества пенополистирола по мере его растворения, добиваясь при этом однородной жидкости без видимых кусков пенополистирола и поверхностей раздела. Концентрация раствора определялась в процентах по массе. Металлические пресс-формы для изготовления стержней предварительно обрабатывались силиконовой смазкой. Соотношение графитовых отходов к раствору определили как 96:4 по массе. Прочность смеси достигалась в результате удаления из нее жидкой фазы – живичного скипидара – путем высушивания образцов в лабораторной камерной электропечи сопротивления модели СНОЛ-1,6.2,5/11-И2, предварительно прогретой до температуры 200 °С. Испытание на разрыв образцов – восьмерок проводилось на приборе модели РП-100 с пределом прочности на разрыв до 3,04 МПа.

Установлено, что при сушке образцов при 200 °С в течение 1 часа практически заканчивается потеря массы независимо от содержания в смеси связующего полистирола. При этом уже спустя 30 минут сушки образцы показали достаточную технологическую прочность стержня в интервале 1,14÷1,76 МПа. Следует предположить, что после прекращения сушки образцов при 200 °С и под влиянием их разогрева будут продолжаться некоторые потери массы за счет удаления из смеси живичного скипидара и дальнейшего повышения ее прочности. Поэтому продолжительность сушки этих образцов в течении 30 минут можно считать оптимальной. Исследования по осыпаемости образцов показали, что она равна 0,87 %, что является достаточно малой величиной.

Термовременные параметры растворения брикетов в расплаве чугуна изучались в диапазоне температур 1350÷1450 °С. Установлено, что с повышением температуры расплава усвоение углерода увеличивается с 50 до 80%, с увеличением выдержки с 10 до 60 мин — с 70 до 90%. Полученные брикетированные карбюризаторы активно усваиваются расплавом, способствуя науглераживанию с высокой степенью однородности.

УДК 621.745.55

Ковальчук О.Г., Ямшинський М.М., Федоров Г.Є.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ

ВИЛИВКИ З ДИФЕРЕНЦІЙОВАНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ ПОВЕРХНІ

Аналіз експлуатації великої кількості литих деталей машин і механізмів, які працюють в умовах інтенсивного зносу, високих температур і агресивних середовищ (теплоенергетика, металургія та ін.), показує, що технології їх виготовлення з використанням об'ємного легування не завжди себе виправдовують, а у багатьох випадках і недоцільні, оскільки лише невелика товщина таких деталей зношується, окиснюється або ушкоджується.

Таким чином для скорочення витрат дорогих високолегованих сплавів перспективними можуть бути способи виробництва виливків із нелегованих сплавів на основі заліза з поверхневим композиційним або легованим шаром, який утворюється під час формування виливка в ливарній формі.

Отримання виливків із диференційованими властивостями полягає у тому, що на робочі поверхні форми або стрижня наносять легувальні покриття у вигляді фарб, паст, облицювального шару або використовують вставки, наповнювачами яких є відповідні легувальні елементи або їх суміші. Залитий у форму метал взаємодіє з легувальним покриттям, внаслідок чого поверхня виливка насичується відповідними елементами із утворенням заданої структури та властивостями.

Розроблена технологія дозволяє отримувати на поверхнях виливків легований шар, який міцно з'єднаний із основним металом і має високий опір зносу. У порівнянні з іншими способами підвищення поверхневої міцності цей процес має певні переваги, а при виготовленні деталей із робочими поверхнями, які не піддаються механічному обробленню – найбільш ефективний.

Поверхнєве легування виливків доцільно здійснювати нанесенням на робочі поверхні форм і стрижнів легувальних покриттів, температура плавлення яких нижча за температуру плавлення основного металу. Для приготування легувальних покриттів використовували метали, феросплави та їх механічні суміші.

Досліджено товщину легувального покриття від 3 до 7 мм. Стрижні з нанесеним покриттям протягом доби підсушували на повітрі, форму та стрижні прогрівали та збирали безпосередньо перед заливанням металу.

Для зносостійкого поверхневого легування використовується феромарганець, феротитан та суміші феросплавів. З економічної точки зору доцільно використовувати високовуглецевий феромарганець ФМн78, який забезпечує стабільність процесу поверхневого легування і сприяє утворенню легованого шару достатньої товщини до 12 мм. Таким чином для зносостійкого поверхневого легування можна рекомендувати феромарганець наступних марок ФМн78А, ФМн88А

Для жаростійкого поверхневого легування найчастіше використовуються порошки окремих легуючих матеріалів або їх суміші, доцільно встановити можливість застосування механічних сумішей порошків для жаростійкого поверхневого легування виливків. В якості вихідних матеріалів для дослідження процесів жаростійкого поверхневого легування вибрані порошки ферохрому ФХ200, ФХ650 та алюмінієва стружка фракції 0315. Так як хром і алюміній в невеликому ступені сприяє підвищенню окалинотійкості сплавів на основі заліза. Вибір марки ферохрому обумовлений його температурою плавлення (1530°C).

Встановлено, що при використанні товщини легованого шару 5 мм на поверхні виливків можна отримати легований шар до 7 мм, що в повною мірою задовольняє вимогам експлуатації жаростійких виливків.

Кращими захисні властивості має легований шар, одержаний при нанесенні легувального покриття на основі ферохрому, оскільки утворюється на поверхні зразка за високих температурах окисна плівка Cr_2O_3 є щільнішою і важче відшаровується від поверхні. Додавання алюмінію викликають утворення комплексної плівки, до складу якої входять оксиди Al_2O_3 , які мають меншу здібність до утримування поверхні зразка і можуть періодично відшаровуватися від поверхні, даючи можливість утворюватися новим оксидам алюмінію.

Таким чином, легований шар, на основі хрому, має достатньо високою окалинотійкість, але має обмежену товщину. Виливки з таким легованим шаром можуть використовуватися для роботи при температурах до 1000°C .

Висновки:

1. Вивчено процеси поверхневого легування литих деталей, які працюють в умовах інтенсивного зносу.

2. Установлено, що для зносостійкого поверхневого легування доцільно використовувати порошки високовуглецевого феромарганцю.

3. Для жаростійкого поверхневого легування використовуються суміші ферохрому з алюмінієм.

УДК 669.18'14-048.77

С. Є. Кондратюк, Ж. В. Пархомчук, В. І. Вейс

ФТІМС НАН України, м. Київ

тел.: (044) 424-21-22, e-mail: zhanna.mom@ptima.kiev.ua

ПІДВИЩЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ СТАЛЕВИХ ВИЛИВКІВ ЗАСОБАМИ СПАДКОВОГО МОДИФІКУВАННЯ

Перспектива і економічна доцільність заміни виробів з деформівного металу високоякісним литтям пов'язані з необхідністю вирішення проблеми одержання дисперсної однорідної литої структури, здатної забезпечити потрібний рівень її опору крихкому руйнуванню. Важливими технологічними факторами підвищення фізико-механічних властивостей литих виробів є температурно-часові умови кристалізації і структуроутворення, процеси модифікування і прояви структурної і металургійної спадковості [1].

Розроблення і впровадження нових ливарних технологій і матеріалів, в тому числі із застосуванням спадкового модифікування [2, 3] з використанням дисперсно-структурованих швидкісною кристалізацією добавок і оборотного селективного матеріалу є актуальною проблемою, яка вимагає проведення системних досліджень.

Показано [3], що зростання інтенсивності охолодження в межах від 5 до 750 °C/с сталей в інтервалі твердо-рідкого стану і наступних твердофазних перетворень зумовлює створення значного градієнта температур і дозволяє реалізувати можливості цілеспрямованого керування дисперсністю і щільністю первинної литої (дендритної) структури, розміром зерна, пригнічення явища ліквації, легованістю твердого розчину, ступеня рівноважності структури, закладення позитивних ознак структурної спадковості на рівні макро-, мікроструктури і тонкої кристалічної будови у литих сталевих виробах і шихтових матеріалах з підготовленою структурою.

Виходячи з цього експериментально показано можливості цілеспрямованого підвищення дисперсності литої структури сталей різного ступеня легування введен-

ням в розплав дисперсно-структурованих добавок металу швидкісної кристалізації аналогічного хімічного складу. Встановлено закономірний зв'язок будови і властивостей сталі в твердому і рідкому станах. Закладені у компонентах шихти спадкові особливості структурно-фазового стану зумовлюють утворення в розплаві значної кількості зародків кристалізації і забезпечують формування у виливках дрібнокристалічної однорідної структури і підвищення характеристик міцності на 10 – 15 %, пластичності у 1,5 – 2,0 рази, ударної в'язкості на 30 – 40 % порівняно з властивостями немодифікованих сталей такого ж хімічного складу. Показано доцільність і ефективність застосування при виготовленні сталевих виливків комбінованих впливів спадкового модифікування і режимів регламентованого швидкісного охолодження розплаву в інтервалі температур кристалізації і твердофазних перетворень.

Також показана можливість цілеспрямованого впливу на литу структуру при спадковому модифікуванні добавками сталей швидкісної кристалізації з наступною їх деформаційно-термічною обробкою. Розмір зерна у виливках зменшується на 4 – 5 номерів, характеристики дендритної будови (дисперсність та щільність дендритної структури) підвищуються відповідно в межах 15 – 40 % і 20 – 35 % залежно від складу сталей при одночасному підвищенні показників міцності, пластичності і ударної в'язкості. Закладені при швидкісній кристалізації, гарячій деформації і зміцнюючій термічній обробці фазово-структурні особливості сталей зумовлюють збереження в розплаві структур ближнього порядку, що забезпечує реалізацію механізму спадкового модифікування.

Наведені результати досліджень щодо закономірностей впливу спадкових особливостей будови компонентів шихти і модифікаторів з підготовленою дисперсною структурою відкривають додаткові резерви підвищення властивостей виливків, розроблення нових ливарних технологій і модифікаторів.

Список літератури

1. Кондратюк С. Є. Структуроутвоєння, спадковість і властивості литої сталі. – Київ: Наукова думка, 2010. – 176 с.
2. Кондратюк С. Є., Пархомчук Ж. В., Стоянова О. М. Структура і властивості спадково модифікованих сталей // Металознавство та обробка металів. – 2017. – № 4. – С. 10 – 18.

3. Kondratiuk S., Stoianova O., Seglov V., Primak I., Parhomcik J. Structure and properties of steels at modify alloying with dispersion structured modifiers // Revista de turnătorie. – 2016. – № 3 – 4. – С. 40 – 43.

УДК 621.745.34

С. В. Конончук, В. В. Пукалов

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький

ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ГОРІННЯ КОКСУ В ВАГРАНЦІ

Вагранка завдяки своїм відомим перевагам залишається поширеним чавуноплавильним агрегатом ливарних цехів.

Процес горіння коксу в вагранці відбувається в умовах нестачі кисню при коефіцієнті надлишку повітря $\alpha < 1$, на що вказує наявність в колошниковому газі горючих компонентів (CO , H_2). Це свідчить про хімічний недопал коксу і вказує на наявність значних резервів роботи вагранок [1 – 2].

Утворення CO в вагранці відбувається внаслідок створення у відновлювальній зоні сприятливих умов для протікання ендотермічної реакції газифікації вуглецю з вуглекислим газом: $\text{C} + \text{CO}_2 = 2\text{CO}$. Виходячи з принципів Ле-Шательє, існує можливість зміщення рівноваги даної реакції в необхідному напрямку шляхом зміни зовнішніх факторів, одним з яких є зниження концентрації вуглецю в відновлювальній зоні. Вказана мета досягається також запропонованою новою конструкцією вагранки [3], яка дозволяє здійснювати подачу коксу безпосередньо в зону горіння. Регулюванням подачі первинного і вторинного дуття можна досягти максимального значення $\alpha = 1$ і тим самим усунути хімічний недопал коксу. Однак, дана конструкція має недолік, оскільки технічно складно організувати закриту систему паливних бункерів та забезпечити потрапляння в зону горіння коксу без руйнувань та видування повітрям дуття. Також до недоліків даної конструкції можна віднести обслуговування уступів для підтримки шихти.

Перераховані недоліки можливо усунути, якщо розділення потоків палива і продуктів згорання здійснювати безпосередньо в шахті вагранки використавши для цього перегородку (рис.1). Працює вагранка таким чином. Через завалочне паливне вікно завантажуються паливо, а через вікно металозавалки завантажуються металева

шихта і флюси. Через нижній ряд фурм подається повітря, необхідне для спалювання палива до напівгазу, а через верхній ряд фурм подається повітря для допалювання напівгазу.

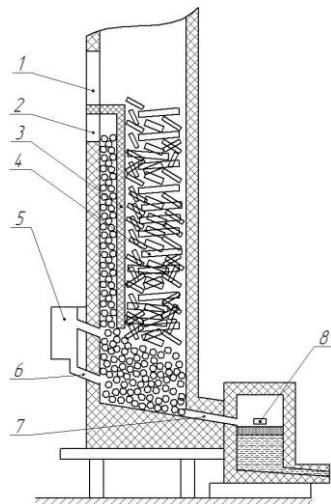


Рис. 1 – Твердопаливна вагранка: вікно металозавалки 1, паливне вікно 2, перегородка 3, шахта 4, фурмена коробка 5, фурми 6, летка 7, накопичувач 8

Щоб продукти згорання не взаємодіяли з паливом, в шахті передбачено перегородку, нижній край якої розташовується над верхнім рядом фурм. Регулюванням подачі палива і металозавалки можна задавати необхідну висоту холостої колоші.

Список літератури

1. Конончук С.В. Дослідження реакції горіння вуглецю коксу у вагранці / С.В. Конончук, Т.Г. Сабірзянов // Збірник наукових праць КНТУ. – Кіровоград: КНТУ, 2005. – В. 16. – С. 86 – 91.
2. Сабірзянов Т.Г. Метод розрахунку горіння коксу у вагранці / Т.Г. Сабірзянов, С.В. Конончук // Наукові записки. – Вип. 4. – Кіровоград: КДТУ, 2003. – С. 158-168.
3. Конончук С.В. Твердопаливна вагранка: Патент на винахід UA 74082 C2 МПК 7 F27B1/10, C21B11/02 / С.В. Конончук, Т.Г. Сабірзянов, В.М. Кропівний. – № 2004021123; заявлено 17.02.2004; Опубл. 17.10.2005. Бюл. 10.

УДК 621.745

С. В. Конончук, В. В. Пукалов

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький

**УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ЛИТТЯ В КОКІЛЬ
АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ**

Оскільки алюмінієві сплави завдяки своїм відомим перевагам широко застосовуються в ливарному виробництві, дослідження, спрямовані на зменшення собівартості литва при забезпеченні необхідної якості є актуальними.

Типовий технологічний процес лиття в кокіль алюмінієвих сплавів складається з таких операцій: підготовка шихтових матеріалів (подрібнення, зважування), підготовка інструменту, обладнання, оснащення, плавка, рафінування, литво, обрубка, відрізання підживлювачів, зачистка, транспортування. Для визначення шляхів удосконалення технології лиття необхідно проаналізувати можливість зміни параметрів, які впливають на зменшення собівартості виробництва (зменшення енерговитрат, матеріалоемності, підвищення продуктивності) та підвищення якості литва.

Ще на етапі проектування при аналізі конструкції деталі та розробці технічних вимог на виливок можна передбачити ребра жорсткості (по можливості) такої конфігурації, при якій досягається максимальна міцність при мінімальній витраті металу. Комп'ютерне моделювання процесів заливки і кристалізації металу в формі дозволяє спроектувати найменш металоємну ливниково-живильну систему, яка забезпечує отримання виливків без дефектів усадкового характеру [1]. Використання в підживлюючій частині теплоізолюючих або екзотермічних вставок дозволяє зменшити розміри підживлювача, а застосування у формі керамічних перемичок забезпечить відбивання підживлювача без виконання операції відрізання.

Дослідження залежності механічних властивостей сплаву від його хімічного складу та режимів термообробки дає можливість підібрати параметри, які забезпечують необхідну міцність сплаву при мінімальних енергетичних та матеріальних витратах.

Дослідження термодинаміки фізико-хімічних процесів, що відбуваються під час плавки, рафінування сплавів дозволяє спрямовувати ці процеси в необхідному напрямку: інтенсифікації «корисних» і гальмування «шкідливих» реакцій [2].

Хронометраж роботи обладнання та робітників дозволяє синхронізувати роботу плавильного і заливного відділень, мінімізувати простої обладнання та підвищити продуктивність виробництва. Для безперервного забезпечення дільниці лиття в кокіл рідким металом необхідно передбачити у плавильному відділенні дві плавильні печі, які працюють паралельно: в одній відбувається розливка металу, в іншій – плавка. При цьому не можна допускати перетримки рідкого металу в печі, оскільки це призводить до вигорання елементів, насичення розплаву шкідливими домішками і газами.

Таким чином, заходи по удосконаленню технологічного процесу лиття в кокіл алюмінієвих сплавів повинні ґрунтуватись на комплексному дослідженні всіх параметрів, які впливають на зменшення собівартості та підвищення якості литва.

Список літератури

1. *Абрамов К.В.* К вопросу о компьютерном моделировании литейных процессов / *К.В. Абрамов, Т.Г. Сабирзянов* // Сборник научных работ КНТУ. Техника в сельскохозяйственном производстве, отраслевое машиностроение, автоматизация. – Кировоград, КНТУ, 2009. – №22. – С. 6.
2. *Конончук С.В.* Дослідження термодинамічних характеристик процесу рафінування алюмінієвих сплавів хлористим цинком / *С.В. Конончук, В.В. Пукалов* // Литво. Металургія. 2017: Матеріали XIII Міжнародної науково-практичної конференції 23 – 25 травня 2017 р. – Запоріжжя: АА Тандем, 2017. – С. 137 – 139.

УДК 621.745

С. В. Конончук, В. В. Пукалов

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ 3D-ДРУКУ В ЛИВАРНОМУ ВИРОБНИЦТВІ

Останнім часом спостерігається тенденція децентралізації виробництва та розділення його на більш гнучкі продуктові команди. Це пов'язано з необхідністю забезпечення потреб якомога більшої кількості споживачів. При цьому виробництво по-

винно швидко перелаштовуватись під ці потреби, що важко зробити без впровадження комп'ютерних технологій.

Системи тривимірного параметричного проектування широко використовуються в ливарному виробництві для проектування конструкторської документації, 3D – моделювання виливків, модельного оснащення, вузлів і складальних одиниць, ливарного обладнання [1], моделювання процесів заливки і кристалізації металу в формі [2]. По розробленим 3D – моделям виготовляють модельне оснащення на верстатах з числовим програмним управлінням.

Найбільш динамічно комп'ютерні технології розвиваються в напрямку адитивного виробництва або технологій пошарового синтезу (в тому числі і 3D-друку), коли отримання виробу відбувається шляхом додавання матеріалу на відміну від традиційних технологій, де створення деталі відбувається шляхом видалення «зайвого» матеріалу.

3D-друк дозволяє отримати з комп'ютерних моделей об'ємні вироби, надаючи можливість огляду об'єкта на 360 градусів. Таким чином можна побачити і виправити можливі помилки проектування, оцінити кінцевий результат ще до запуску проекту в виробництво.

Всі технології 3D-друку засновані на чотирьох базових методах переробки матеріалів: екструзія – видавлювання розплавленого матеріалу, фотополімеризація - затвердіння полімеру УФ або лазерним випромінюванням, гранулювання – склеювання або спікання частинок матеріалу і ламінування - склеювання шарів матеріалу з подальшим вирізанням

Найбільш доступною є технологія 3D-друку екструзією. Різноманітність матеріалів для екструзії дозволяє виготовляти вироби з найрізноманітнішими властивостями: з твердого пластику – модельне оснащення, форми для воскових моделей; з водорозчинного пластику – моделі для виготовлення гіпсових форм для художнього, ювелірного та зубопротезного лиття; з ливарного воску – для витоплюваних моделей; з гумо подібного пластику – для виготовлення форм для воскових моделей, тощо.

Якщо на початку розвитку 3D-принтери коштували десятки тисяч доларів, то зараз 3D-друк інтенсивно інтегрується в усі сфери людської діяльності і представлений великою різноманітністю принтерів, витратних матеріалів, запасних частин, супутнього обладнання.

Кафедра матеріалознавства та ливарного виробництва ЦНТУ придбала 3D-принтер, який використовується в навчальному процесі при викладанні курсів «Комп'ютерне проектування оснащення ливарного виробництва» та «Комп'ютерне проектування обладнання ливарного виробництва». Даний принтер дозволяє друкувати вироби розміром 220x220x200 мм з товщиною шару 0,1 мм або 0,2 мм зі швидкістю від 30 до 120 мм/с з точністю розмірів $\pm 0,1$ мм. На лабораторних роботах студенти-ливарники мають змогу роздрукувати розроблені попередньо 3D-моделі виливків, ливникової системи, модельне оснащення, ливарні форми, а також вузли і механізми ливарного обладнання в зменшеному масштабі (наприклад, механізм запирання прес-форми машини лиття під високим тиском). Це дає можливість студентам краще зрозуміти конструкцію виливка, ливникової системи, особливості розміщення та кріплення стержня у формі, конструкцію, послідовність виготовлення та розташування на плитах модельного оснащення, конструкцію та принцип роботи механізмів, тощо.

Список літератури

1. *Алямовский А.А. SolidWorks. Компьютерное моделирование в инженерной практике / А.А. Алямовский, А.А. Собачкин, Е.В. Одинцов, А.И. Харитонович, Н.Б. Пономарев* – СПб.: БХВ–Петербург, 2005. – 800 с
2. *Абрамов К.В. К вопросу о компьютерном моделировании литейных процессов / К.В. Абрамов, Т.Г. Сабирзянов // Сборник научных работ КНТУ. Техника в сельскохозяйственном производстве, отраслевое машиностроение, автоматизация.* – КирОВОГРАД, КНТУ, 2009. – №22. – С. 6.

УДК 621.74.669.131.622

**Кривошеев В.А., Калинин В.Т., Меняйло Е.В, Хрычиков В.Е.,
Доценко Ю.В., Тысячник В.А.**

Национальная металлургическая академия Украины, Днепр

ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ СТОЙКОСТИ ЛИТЫХ ДЕТАЛЕЙ ДВИГАТЕЛЕЙ И ПРОМЫШЛЕННЫХ АГРЕГАТОВ

Исследования, направленные на повышение качества и эксплуатационной стойкости литых изделий, проводили в лабораторных, опытно-промышленных и промышленных условиях НМетАУ, ИЧМ НАНУ, МК «Азовсталь», «АрселорМиттал (Кривой Рог)», Мелитопольского моторного, ПАО Днепропетровский завод прокатных валков и др.

Объектом исследований были выбраны отливки ответственного назначения: коленчатые валы, детали двигателей тракторов и автомобилей, сталеразливочные изложницы, мелющие шары, трубы, багерные насосы, валки прокатные из отбеленного и высокопрочного чугуна (ВЧ).

При производстве литой продукции качество отливок формируется на этапах выбора исходных шихтовых материалов, разработки рациональных режимов проведения плавки, легирования, модифицирования и наномодифицирования расплава в печи, на желобе, в ковше или форме. Для установления возможности эффективного влияния на качество отливок на всех этапах их производства были исследованы и проанализированы параметры их качества.

Применение чушкового литейного чугуна производства МК «Азовсталь», технология производства которого разработана ИЧМ НАНУ, позволило снизить брак коленчатых валов, поршней двигателей, отливок для автомобилей и багерных насосов на $\approx 25\%$, прокатных валков из ВЧ – на $\approx 5\%$, сталеразливочных изложниц – на $\approx 20\%$, мелющих шаров – на $\approx 25\%$.

Поэтому целесообразным является расширение объемов производства отливок с использованием чушкового литейного чугуна с минимальным содержанием серы.

Исследование физико-механических свойств отливок показало эффективность легирования $\approx 0,2\%$ Nb либо $\approx 0,2\%$ W и модифицирования нанодисперсными частицами на основе тугоплавких соединений TiCN и SiC в количестве 0,005-0,015%.

Так, легирование прокатных хромоникелевых валков 0,2% Nb или 0,2% W способствует протеканию процесса перекристаллизации при температурах 300-500 °С, ускоряет процесс релаксации напряжений, возникающих в отливке при охлаждении, и снижает опасность образования «волосовидных трещин».

Установлено, что в железоуглеродистых сплавах наномодификаторы являются дополнительными центрами зарождения первичной фазы. Разработаны рациональные технологические приемы и методы их ввода в расплав. Так, для устранения опасности возникновения «горячих трещин» в отливке у выступающей части литейной формы рекомендовано наносить припылы и пасты из ультрадисперсных наночастиц, которые обеспечат формирование мелкозернистой структуры. Такое повышение прочности металла только в поверхностном слое этой части литого изделия, по сравнению с участком отливки, который затвердел на плоской поверхности и имеет большую толщину, предотвращает зарождение горячей трещины.

УДК 536.46:531.112:54-165

Н. А. Кудрявченко, Лихошва В.П., Ширяев В.В.

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

Тел./факс: (044) 424-32-30, E-mail: plazer_v@i.ua

БЛОК ИНИЦИАЛИЗАЦИИ РЕАКЦИЙ СВС

При получении биметаллических изделий заливкой жидкого (черного или цветного) металла на стальную подложку с применением литейно-СВС метода необходима управляемая инициализация реакции самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС), которая используется для предварительного нагрева подложки.

Исходя из анализа литературных источников и результатов экспериментальных исследований, установили, что инициализацию лучше производить локально-кратковременным импульсом. Вклад энергии для зажигания порошковой смеси ($\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Al}$) должен находиться в диапазоне 10 – 200 ккал/(см² · с). В качестве нагревателей были применены спирали из нихрома.

Определено, что инициализация зажигания может гарантированно происходить в температурном интервале 800 – 1200 °С.

При наличии нескольких реакторов СВС в технологическом процессе требуется осуществлять их поджог как одновременно, так и с регулируемым сдвигом для выравнивания и оптимизации температурных условий последующей заливки. Для этих целей разработана структурная схема (рис. 1а).

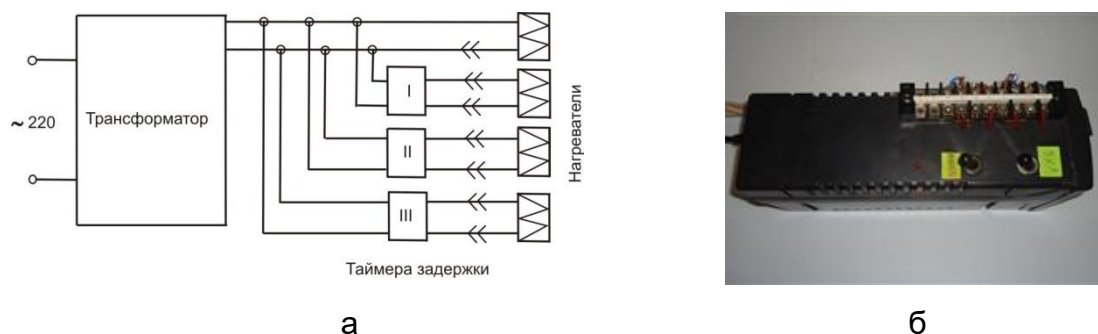


Рис. 1– Структурная схема (а) и фото блока инициализации реакции СВС (б).

Она позволяет производить поджог четырех независимых реакторов по любой заданной во времени программе. Временные параметры программы задаются с помощью регулируемых таймеров задержки.

На основе предложенной схемы изготовлен блок инициализации (рис. 1б), который позволяет улучшить равномерность нагрева подложки, что в свою очередь способствует повышению качества сцепления слоев в биметаллических изделиях.

УДК 621.746:666.85/89

О. А. Кузьменко, А. Г. Малявін, А. С. Затуловський, В. О. Щерецький

Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, Київ

ДОСЛІДЖЕННЯ РІДИННОПЛИННОСТІ РОЗПЛАВІВ НА ОСНОВІ КАЛІЄВОГО ФТОРФЛОГОПІТУ

Технологічні властивості фторфлогопітового розплаву в період плавки, під час заливки в ливарні форми, та в період переходу з рідкого стану в твердий, мають надзвичайно важливе значення для отримання високоякісних виливок, так як процес формування структури, утворення усадочних та газових раковин у виливках з фторфлогопітового розплаву починається в рідкому стані, а закінчується під час кристалізації та затвердіння розплаву.

Рідинноплинність фторфлогопітових розплавів вивчали на прикладі трьох складів шихти приведених в табл. 1 та на прикладі трьох складів одержаних розплавів (табл. 2) відповідно.

Таблиця 1 – Розрахункові склади шихт

Склад	Вміст компонентів, мас. %			
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	K ₂ SiF ₆
1	30,7	16,0	27,8	25,5
2	34,7	11,8	28,0	25,5
3	37,0	9,5	28,0	25,5

Таблиця 2 – Хімічний склад фторфлогопітових розплавів

М-ріал	Вміст компонентів , мас. %										
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	FeO	CaO	F	Σ	F ₂ =O ₂	Σ
1	37,0	16,4	28,1	10,8	0,2	0,4	1,3	10,1	104,3	4,2	100,1
2	41,3	11,7	28,3	10,5	0,4	0,3	1,1	10,6	104,2	4,5	99,7
3	43,7	9,5	28,5	10,1	0,1	0,3	1,4	10,3	103,9	4,3	99,6

Порівняння рідинноплинності фторфлогопітових розплавів з базальтовими, які використовуються в петрургії, і сплавами металів (рис. 1) показує, що рідинноплинність розплавів, що вивчаються, наближається до рідинноплинності вуглецевої сталі та в 3-4 рази перевищує рідинноплинність базальтових розплавів, займаючи проміжне положення між розплавами базальту та рідким чавуном [1, 2].

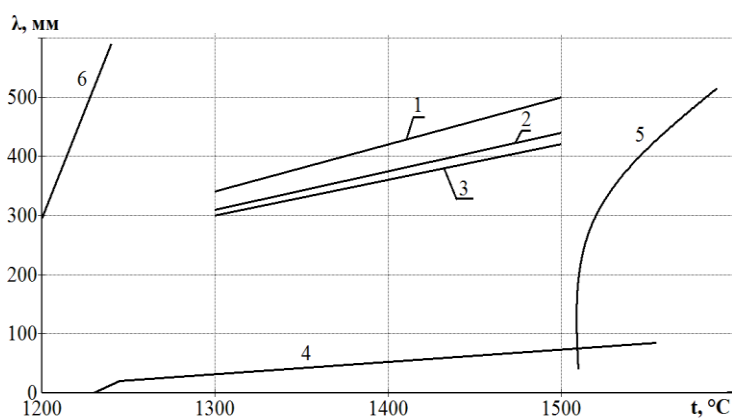


Рисунок 1 – Залежність рідинноплинності від температури фторфлогопітових розплавів – 1, 2, 3; базальтового розплаву – 4; рідкої сталі ст. 3 – 5 та сірого чавуну – 6.

За величиною і значенням рідинноплинності фторфлогопітові розплави є типовими ливарними сплавами та наближаються за цими властивостями до рідкого чавуну, що дозволяє отримувати як прості так і фасонні виливки складної конфігурації із застосуванням технологічних засобів ливарного виробництва.

Список літератури

1. Шелудяков Л.Н. Состав, структура и вязкость гомогенных силикатных и алюмосиликатных расплавов. – Алма-Ата: Наука Каз. ССР. – 1980. – 157 с.
2. Баландин Г.Ф. Формирование кристаллического строения отливок. – М.: Машиностроение. – 1973. – 287 с.

УДК 669.15-194:539.389.2

П.М. Кучеренко, С.Я. Шипицин, М.В. Маркашова*

Фізико-технологічний інститут металів і сплавів НАН України, Київ

*Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Тел./факс: 0444243512, e-mail: odus@ptima.kiev.ua

ДИСЛОКАЦІЙНА СТРУКТУРА FE-CR-MN-N СТАЛІ ПРИ ДЕФОРМАЦІЇ ТИСКОМ І КАВІТАЦІЙНОМУ ЗНОШУВАННІ

Метою досліджень є визначення можливості застосування закономірностей деформаційного зміцнення і формування субструктури сталей при об'ємному механічному деформуванні макрозразків на ці закономірності при кавітаційному зношуванні, бо у першому випадку технічно більш доступно пряме визначення ефективності деформаційного зміцнення та виготовлення фольг для трансмісійного електронномікроскопічного аналізу.

Досліджування сталь марки 17X14Г19АФ із стабільним аустенітом дисперсійно зміцнена нанорозмірними частинками VN при відпуску 700 °С – 24 години після гомогенізації 1200 °С – 2 години.

Деформування макрозразків (d=20 мм, h=30 мм) виконували стисканням на 9,6%. Кавітаційне зношування проводили методом _____. Фольги для дослідження на електронному мікроскопі JEM–200 CX виготовляли із макрозразків на половині їх висоти і з кавітаційно зношеної поверхні (рис. 1).

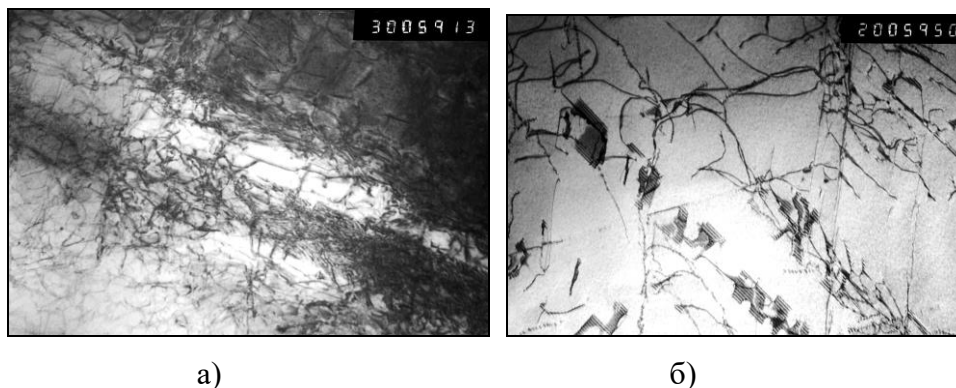


Рис. 1 – Структура сталі 17Х14Г19АФ після деформації стисненням на 9,6% (а) (х20000) та після кавітаційного зношування (21 год) (б) (х30000)

При порівнянні субструктур було визначено, що при об'ємному стисненні та кавітаційній дії деформаційне зміцнення досягається шляхом дислокаційного зміцнення. У зразках сформувалось майже однорідна сітка дислокацій, але, оскільки, при деформації в мікрооб'ємах від дії кавітації щільність дислокацій менша ніж після деформації стисненням, можна зробити висновок, що ступінь пластичної деформації в мікрооб'ємах менший ніж при макродеформації стисненням.

Отже доведено, що доцільно використовувати залежності формування дислокаційної структури при об'ємному механічному деформуванні для аналізу її формування при деформації в мікрооб'ємах металу при кавітаційній дії. Встановили, що при обох видах деформації в Fe-Cr-Mn-N сталі з стабільним аустенітом з попереднім дисперсійним зміцненням деформаційне зміцнення відбувається дислокаційним шляхом.

УДК 669.296: 669.2.537

С. В. Ладохин, Т. В. Лапшук

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, г. Киев

Тел/факс: 044-424- 2350; e-mail: e_luch@ptima.kiev.ua

ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ЛИТЬЯ ИЗ ЦИРКОНИЕВЫХ СПЛАВОВ В УКРАИНЕ

Украина входит в число немногих стран, в которых целенаправленно проводятся исследования по разработке технологий электронно-лучевой плавки и литья различных металлов и сплавов, в том числе циркониевых сплавов. К настоящему време-

ни в стране разработаны такие технологии получения литых изделий из циркониевых сплавов в электронно-лучевых установках: трубных заготовок из сплава Zr-1Nb на основе циркония кальцийтермического восстановления литьем в кокиль, центробежным методом и литьем с наложением электромагнитных полей на затвердевающей в форме расплав; корпусов и рабочих колес насосов для перекачки уксусной кислоты из сплава Zr-1Nb на основе циркония электролитического восстановления литьем в углеродные формы; колоколов из сплава Zr-1Nb на основе циркония кальцийтермического восстановления литьем в углеродные формы; деталей несущих конструкций тепловыделяющих элементов атомных реакторов из сплава Zr-2,5Nb на основе циркония электролитического восстановления центробежным методом в металлические формы; литые штанги из сплава Zr-1Nb в виде обратного металла литьем в кокиль. Кроме этого, в самые последние годы опробованы технологии получения заготовок для магнетронного распыления из сплавов систем Zr-Co и Zr-Ti-Ni на основе циркония йодидного восстановления литьем в комбинированные металлические формы и заготовок медицинского назначения для изготовления провода из сплавов системы Zr-Al-Sn также на основе циркония йодидного восстановления литьем в кокиль. Во всех перечисленных случаях выплавка сплавов проводилась в гарнисажных тиглях по отечественной технологии с электромагнитным перемешиванием расплава и осуществлением слива как через сливное отверстие в днище, так и через сливной носок путем наклона тигля [1].

Наиболее полно разработаны и прошли проверку технологии получения трубных заготовок, причем все указанные выше варианты обеспечивают получение заготовок, пригодных для прокатки. Из этих заготовок в ГП «Научно-исследовательский трубный институт им. Я. Е. Осады» под руководством В. С. Вахрушевой были разработаны технологии изготовления горячекатаных TREX-труб и холоднокатаных трубок ТВЭЛ. В научном и практическом плане наиболее интересным результатом следует считать технологию изготовления TREX-труб по схеме высокотемпературного прессования в β -области с использованием деформации больших степеней при прессовании и закалке с прокатного нагрева, что позволяет исключить из технологического процесса ковку. Установлено также, что заготовки, полученные с наложением электромагнитных полей, можно прессовать при более низкой температуре нагрева (1310-1330 К) по сравнению с заготовками, получаемыми при стационарном и центробежном литье (1370-1380 К). Это обеспечивает повышение качества поверхности горячепрессованных труб и увеличение выхода годного [2, 3].

Полученные результаты важны прежде всего в том отношении, что подтверждают обоснованность сформулированных ранее предложений об использовании литейной технологии производства из циркониевых сплавов как трубных заготовок для изготовления защитных оболочек ТВЭЛ, так и других деталей атомных реакторов, что важно для решения задач по созданию отечественного ЯТЦ [4]. Однако нерешенным вопросом остается выбор способа получения циркония – магний- или кальцийтермическим восстановлением, с чем связан и вопрос о выборе технологии его выплавки. Мы были и остаемся сторонниками использования оригинальной отечественной технологии кальцийтермического восстановления с дальнейшим электронно-лучевым переплавом циркония и изготовлением литых трубных заготовок.

Список литературы

1. Электронно-лучевая плавка в литейном производстве / Под. ред. *С. В. Ладыхина*. – Киев: Изд-во «Сталь», 2007. – 626 с.
2. Вахрушева В. С. Формування структури та властивостей сталі і сплавів при виготовленні труб для ядерних енергетичних установок: Автореф. дис.... д-ра. техн. наук. - Дніпропетровськ, 2003. – 36 с.
3. *Гладков А.С.* Особливості електронно-променевої гарнісажної плавки сплаву Zr-1Nb і розробка технології виготовлення трубних заготовок: Автореф. дис. канд. техн. наук.- Київ, 2009. – 20 с.
4. *Ладыхин С.В., Вахрушева В.С.* Перспективы применения электронно-лучевой плавки для получения сплавов циркония в Украине / Современная электрометаллургия. – 2008. № 4. – С. 22-26.

УДК: 669.1.017:621.78

Лиховой Д.И., Короленко Д.Н., Шипицин С.Я.*Физико-технологический институт металлов и сплавов**НАН Украины, г. Киев**Тел./факс: 0444243512, e-mail: odus@ptima.kiev.ua***ВЛИЯНИЕ ДИСПЕРСИОННОГО НИТРИДВАНАДИЕВОГО УПРОЧНЕНИЯ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АЗОТИРОВАННЫХ И ЦЕМЕНТИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ**

В работе были исследованы разработанные ранее экономнолегированные с оптимальным нитридным упрочнением конструкционная сталь 22ХГ2САФ и 22ХГ2СФ без нитридной фазы, а также штамповая сталь с нитридным упрочнением 30Х6МАФ и без нитридной фазы 30Х6МФ.

В табл. 1 приведены данные по механическим свойствам цементованных сталей 22ХГ2СФ и 22ХГ2САФ и азотированных сталей 30Х6МФ и 30Х6МАФ.

Таблица 1

Марка стали	σ_B	σ_T	δ	ψ	КСУ, Дж/см ²
	МПа		%		
22ХГ2СФ	930 / 970	850 / 920	25,0 / 13,0	39,7 / 20,5	71,0 / 23,0
22ХГ2САФ	1080 / 1150	980 / 1090	28,3 / 19,4	44,0 / 34,8	85,0 / 70,0
30Х6МФ	890 / 930	800 / 850	20,0 / 14,5	45,0 / 31,0	65,0 / 45,0
30Х6МАФ	990 / 1050	850 / 930	22,0 / 19,0	52,0 / 47,0	68,0 / 55,0

Предварительная термическая обработка сталей 22ХГ2СФ и 22ХГ2САФ состояла из закалки 920°С→2ч→вода и отпуска 650°С→2ч→воздух, а цементацию проводили в твердом карбюризаторе при 950°С в течение 10ч с охлаждением в карбюризаторе и последующей закалкой 860°С→1ч→масло и отпуском 160°С→2ч→воздух. Предварительная термическая обработка сталей 30Х6МФ и 30Х6МАФ состояла из закалки 1100°С→2ч → масло и отпуска 700°С→2ч→воздух. Газовое азотирование в аммиаке проводили при 550°С в течение 38ч.

Из приведенных экспериментальных данных видно, что при цементации и азотировании микролегирование сталей азотом и ванадием незначительно увеличивает эффект повышения прочности образцов и заметно снижает эффект уменьшения их

пластичности и ударной вязкости, уровень снижения вязкости и пластичности достигает 1,5 – 3,0 раза.

Незначительное повышение прочностных свойств образцов сталей микролегированных азотом и ванадием, связано с повышением прочности (микротвердости) как цементованных, так и азотированных слоев.

Список литературы

1. *Лахтин Ю. М., Коган Я. Д., Шлис Г. И. и др.* Теория и технология азотирования. – М.: Металлургия, 1991. – 320 с.
2. *Лахтин Ю. М., Коган Я. Д.* Азотирование стали. – М.: Машиностроение, 1976. – 256 с.

УДК 621.74.049

Т.В. Лысенко, Н.И. Замятин, М.П. Тур

Одесский национальный политехнический институт, Одесса

ОПТИМИЗАЦИЯ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ОТЛИВОК ИЗ ЛЕГКОПЛАВКИХ СПЛАВОВ ПРИ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ В КОКИЛЕ С ОБЛИЦОВКОЙ ИЗ СИЛИКОНОВОЙ РЕЗИНЫ

Метод получения отливок в облицованный кокиль с применением в качестве облицовки силиконовой резины не позволяет в широких пределах управлять процессами кристаллизации в виду однородности покрытия. Влияние на скорость охлаждения отливки при помощи изменения толщины стенки покрытия не всегда возможно по технологическим причинам.

Для решения этой проблемы рекомендуется добавлять в резину порошки различных металлов, таких как медь, железо, алюминий и другие.

Это позволяет в широких пределах влиять на теплопроводность покрытия. Ввод порошков осуществляется следующим образом: порошок добавляем в резину, перемешиваем в течении 5 мин, вакуумируем 4 мин и затем даем отстояться 10 мин. Добавляем катализатор, перемешиваем 5 мин и заливаем получившуюся суспензию

в полость между моделью и кокилем для образования облицовки. Извлечение модели осуществляем через 24 часа.

Так, как получившаяся система у нас является гетерогенная с вкраплениями одного качества, то расчет теплопроводности производим по формуле [1]:

$$\lambda = \lambda_m \left[1 - \frac{P_1}{(1 - v_v)^{-1} - (1 - P_1)3^{-1}} \right]$$

где $v_m = \frac{\lambda_1}{\lambda_m}$;

- теплопроводность соответственно вкрапливания и матрицы ;

P_2 – объемная концентрация твердой фазы;

для покрытий ,

где k_1 – удельное содержание твердой фазы:

ρ и ρ_1 – плотность соответственно покрытия и твердой фазы

Список литературы

1. Специальные способы литья. Справочник / [В. А. Ефимов, Г. А. Анисович, В. Н. Бабич та ін.]. – М: Машиностроение, 1991. – 436 с.

УДК 621.742

Р.В. Лютий, Д.В. Люта

КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ

ХОЛОДНОТВЕРДНА АЛЮМОФОСФАТНА СУМІШ ДЛЯ ЛИВАРНИХ СТРИЖНІВ

Над проблемою розроблення нових зв'язувальних компонентів, які дають змогу отримати холоднотвердну суміш із високими технологічними властивостями, не-дефіцитних, нетоксичних і дешевих, працює ряд фірм-виробників, дослідників і ливарних підприємств, що підтверджує актуальність подібних розробок [1, 2].

У сучасних стрижневих сумішах використовують багато різних зв'язувальних компонентів, які відрізняються хімічною природою і способами зміцнення. Особливе

місце серед них займають фосфати. Завдяки ряду цінних властивостей, вони знайшли застосування як корозійностійкі покриття, клеї, жаростійкі бетони [3, 4].

Історія появи та зникнення цих зв'язувальних матеріалів у ливарному виробництві досить цікава. Фосфатні суміші у 80-90-х рр. XX сторіччя мали достатньо широке застосування. Проте внаслідок відсутності і високої ціни необхідних компонентів, в основному порошкоподібних затверджувачів, зараз їх застосування зведено до мінімуму.

Тому пошук для фосфатних зв'язок відповідних порошкоподібних матеріалів, вивчення властивостей сумішей з ними і оптимізація їх складу є актуальною проблемою як з наукової, так і з практичної точки зору.

Для проведення експериментів використано ортофосфорну кислоту з концентрацією 85% і густиною 1670 кг/м^3 та алюмінієву пудру ПАП-1 ГОСТ 5494–95. Наповнювачем у сумішах є річковий пісок на основі кварцу марки $3\text{K}_5\text{O}_3\text{O}25$.

Для визначення властивостей (міцності при стисканні, обсипаємості, газопроникності) виготовляли стандартні циліндричні зразки. Високотемпературні перетворення досліджували методом диференційного термогравіметричного аналізу з використанням синхронного термічного аналізатора STA 449 C Jupiter. Структуру і фазовий склад визначали рентгенофазовим аналізом на дифрактометрі RIGAKU моделі "Ultima IV".

Із хімії зв'язувальних речовин відомо: якщо з H_3PO_4 взаємодіє оксид металу, то сам метал має взаємодіяти з нею більш інтенсивно. У зв'язку із цим являє інтерес дослідження реакційної здатності металевих порошоків, зокрема алюмінію. Це досить активний метал, тому внаслідок контакту з атмосферою часточки порошку покриваються плівкою оксиду або гідроксиду. Взаємодія захисної плівки з H_3PO_4 має сповільнити процес твердіння і забезпечити необхідну живучість формувальної (стрижневої) суміші.

На першому етапі дослідження проведено якісну реакцію, яка підтверджує дане припущення: ортофосфорну кислоту змішали з пудрою алюмінію в довільному співвідношенні. Якщо б оксидної плівки на поверхні часток алюмінію не було, взаємодія з ортофосфорною кислотою була би практично миттєвою, що не дає можливості утворення міцної структури. При наявності оксидної плівки з'являється деякий інкубаційний період, протягом якого кислота повільно реагує з нею. За перші 3...5 хвилин ніякої взаємодії не спостерігається, однак після цього реакція кислоти з пудрою відбувається швидко і з виділенням значної кількості тепла.

Установлено фазовий і хімічний склад отриманих продуктів тверднення. При фазовому аналізі знайдено алюміній у чистому вигляді та ортофосфат AlPO_4 . Кількісний аналіз також показав наявність тільки цих двох сполук. Вміст металевого алюмінію 80,2%, а AlPO_4 – 19,8%. Кислих фосфатів алюмінію $\text{Al}_2(\text{HPO}_4)_3$ або $\text{Al}(\text{H}_2\text{PO}_4)_3$ у пробі не знайдено.

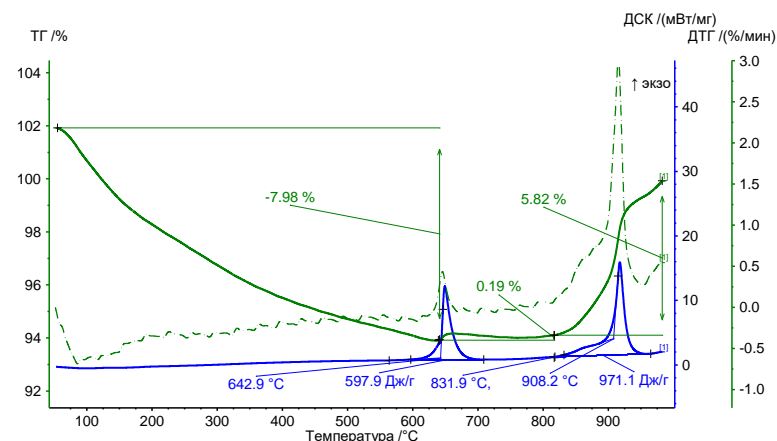


Рис. 1 – Диференційний термогравіметричний аналіз холоднотвердної композиції алюмінієва пудра (1 мас. ч.) – ортофосфорна кислота (3 мас. ч.)

При термогравіметричному аналізі цієї ж композиції (рис. 1) вивчено основні перетворення при нагріванні. Оскільки в пробі міститься залишковий алюміній, ефект при 640...660 °C можна пов'язати з його плавленням, а екзотермічний ефект при 908 °C – окисненням до оксиду алюмінію. Під час цього другого перетворення відбувається збільшення маси, як установлено, на 5,82%. У реальній стрижневій суміші вплив цих ефектів буде мінімальним, тому що очікуваний вміст пудри у суміші не перевищує 2...3%. У свою чергу, окиснення залишкового алюмінію може сприяти відновленню оксиду заліза у складі сталі або чавуну і захистить поверхню виливка від пригару.

На основі вивченої зв'язувальної системи приготовлено ряд стрижневих сумішей згідно плану експерименту. Показники основних фізико-механічних властивостей знаходяться на достатньо високому рівні: міцність при стисканні через 1 год близько 1,5 МПа, обсипаємість не більше 0,3%, газопроникність 180...230 одиниць.

Із холоднотвердної суміші складу: H_3PO_4 – 3%; пудра алюмінієва – 1,5%; вода – 2,5%; пісок кварцовий – наповнювач, виготовлено невеликі роз'ємні ливарні форми для виливка діаметром 80 мм и товщиною 15 мм. Заливання здійснювали сталлю 20Л з температурою 1600 °C и жаростійкою сталлю 30Х25Ю2ТЛ з температурою

1560 °C. Відсутність пригару і хороша якість поверхонь виливків свідчать про мінімальний рівень взаємодії розплавів сталі з формою із розробленої суміші.

Алюмофосфатна суміш захищена патентом на винахід [5].

Список літератури

1. *Евтушенко Н.С., Шинский О.И., Пономаренко О.И.* Исследование свойств регенерируемых смесей на основе ОФОС // Компрессорное и энергетическое машиностроение. – 2013. – № 4. – С. 48...51.
2. *Пономаренко О.И., Каратеев А.М., Евтушенко Н.С., Берлизева Т.В.* Опыт изготовления отливок на основе жидкого стекла с использованием АЦЭГ // Металл и литье Украины. – 2010. – №11. – С. 20...23.
3. *Копейкин В.А., Клементьева В.С., Красный Б.Л.* Огнеупорные растворы на фосфатных связующих. – М.: Металлургия, 1986. – 102 с.
4. *Судакас Л.Г.* Фосфатные вяжущие системы. – СПб: РИА «Квинтет», 2008. – 260 с.
5. Патент України на винахід № №110450. Холоднотвердна суміш для виготовлення ливарних форм і стрижнів / *Лютий Р.В., Кеуш Д.В., Думчева К.Ю., Анісімова О.А.* – Бюл. №24, 2015 р., вид. 25.12.2015.

УДК 669.245.018:629

И. И. Максютя, Ю. Г. Квасницкая, Е. В. Михнян, А. В. Нейма

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

«ГОРЯЧЕЕ» РАСТВОРЕНИЕ КАК СПОСОБ УДАЛЕНИЯ ППС-МОДЕЛЕЙ

Обеспечение высокой надежности и ресурса работы таких изделий как тонкостенные отливки для рабочих и сопловых лопаток ГТД с равноосной и ориентированной структурой из жаропрочных сплавов может осуществляться совершенствованием существующих технологических процессов. Например, повышение размерной точности и чистоты поверхности деталей достигается при применении литья в комплексномодифицированные оболочковые керамические формы на основе корун-

да или кварца, разрабатываемые во ФТИМС НАНУ, с одновременным использованием растворяемых моделей из вспененного полистирола (ППС).

В качестве модификаторов, как показали многолетние исследования, целесообразно применять мелкодисперсные порошки таких металлов, как алюминий, кремний, оксиды которых взаимодействуют с основой и при нагревании образуют более прочные химические соединения в виде муллита.

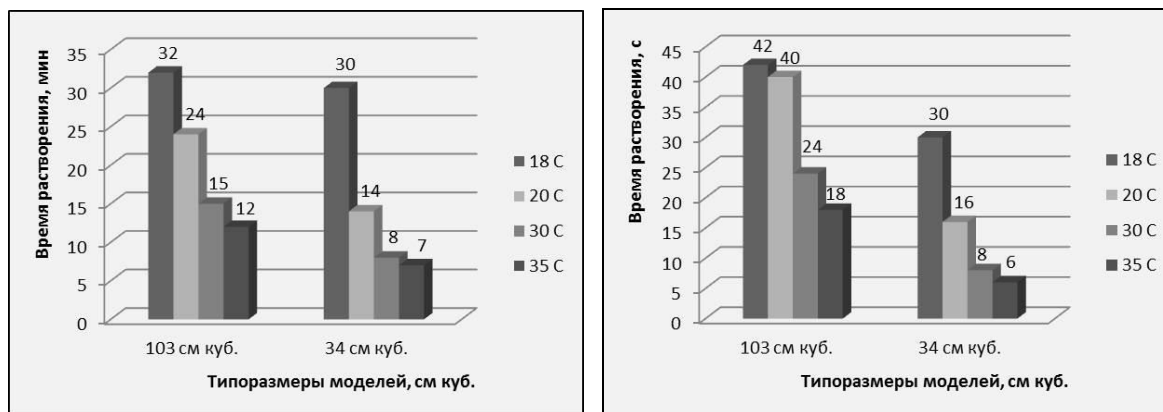
При этом, толщина измененного слоя на границе «металл-форма» отлитой детали в модифицированную форму, уменьшается в 2 – 2,5 раза по сравнению с традиционной технологией.

При получении отливок литьем по растворяемым моделям самым важным показателем является скорость растворения ППС-моделей. Как показывают литературные данные, растворения моделей, особенно крупногабаритных, исчисляется часами, сдерживая массовое применение рассматриваемого способа. Поэтому определение дополнительных факторов, интенсифицирующих процесс растворения и приближающих его к технологически приемлемому, является актуальным и экономически перспективным.

Для проведения экспериментов, исходя из предыдущих исследований, были выбраны такие растворители, как технический скипидар (ТУ 13-0279856-74-87) и № 646 (ТУ У 24.3-00904996-004-2004).

Как один из факторов повышения кинетических характеристик процесса растворения, был испытан подогрев растворителей. Использовали образцы объемом 34 см³ и 103 см³ с ППС марки ПСБ-25 (EPS-EN13163), ДСТУ Б EN 13163-2013 плотностью 25 кг/м³ и значительно более прочного экструдированного ППС марки 4000 CS (XPS СТО 72746455-3.3.1-2012) плотностью 35 кг/м³. Температура растворителей, при условии учета температуры вспышки, составила 18, 20, 30 и 35 °С. Часть результатов проведенных исследований по «горячему» растворению моделей с экструдированного ППС представлена на рис.

Выводы: результаты исследований термо-кинетических характеристик процесса растворения ППС нескольких типов показали, что с повышением температуры растворителя, скорость растворения моделей увеличивается в 2,5 – 3 раза, что способствует росту производительности.



а)

б)

Рис. – Зависимость времени растворения моделей с экструдированного ППС ($\rho = 35 \text{ кг/м}^3$) от температуры растворителя: а – технический скипидар; б – растворитель № 646

Использование более эффективных «горячих» растворителей становится возможным только при условии применения разработанных во ФТИМС НАНУ более термо- и химическистойкой комплексномодифицированной огнеупорной керамики, как на основе корунда, так и на основе кварца. Комплекс работ по определению основных параметров техпроцесса удаления моделей составляет задачи будущего периода.

УДК 621

Мамаєва І. М., Золотар Л.С.

Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
м. Харків

ЦЕХ ЛИТТЯ ПІД ТИСКОМ ЯК ОБ'ЄКТ МОДЕРНІЗАЦІЇ

Проблема реконструкції старих ливарних цехів є актуальною та стане надзвичайно гострою в майбутньому, оскільки технічний рівень основних фондів ливарного виробництва не цілком відповідає сучасним вимогам. Значна кількість спеціалізованих ливарних підприємств потребують реконструкції в зв'язку з сучасними економічними обставинами.

Лиття під тиском є одним з найбільш досконалих способів отримання деталей з кольорових сплавів. Іноді цим способом виготовляють виливки із сталі, титану або сплавів на основі олова і свинцю. Це тонкостінні виливки, маса та тепловміст яких навіть за великих габаритних розмірів в сотні разів менше, ніж маса та тепловміст форми. Висока швидкість тепловіддачі від виливка до форми зумовлює необхідність її швидкого заповнення. Таке заповнення забезпечує машина, в якій метал, залитий в камеру пресування під великим тиском і з великою швидкістю запресовується у форму. Високі швидкості впускного потоку сприяють якісному оформленню рельєфу виливків складної конфігурації.

Крім швидкостей пресування та впуску суттєвий вплив на формування виливку мають такі фактори: температури металу та форми, конструкція ливниково – вентиляційної системи, режими змащування форми, тиск та тривалість дії допресування після заповнення форми. Сукупність таких факторів як швидкість потоку металу, тиск у потоці, протитиск газів визначає гідродинамічний режим формування виливка. Температури форми та металу, що заливається, тривалість заповнення, тривалість дії допресування, а також темп роботи машини визначають тепловий режим процесу.

Цех лиття під тиском за своєю структурою складається з трьох основних виробничих відділень, визначаючих основні етапи виготовлення виливка – плавлення металу, заливання його в машину лиття під тиском та фінішну обробку виливка.

Відділення лиття під тиском – це основна ланка цеху, яка визначає його потужність. В ньому встановлюються роздаткові печі, машини та комплекси лиття під тиском. На ділянці фінішної обробки відбувається відділення виливків від ливників, зачищення, ліквідація дефектів.

В організації цеху лиття під тиском велику роль має раціональна організація плавильних відділень, які постачають цех рідким металом. Робота плавильного відділення узгоджується з потребами в металі як за кількістю металу, що виплавляється, так і за марками сплавів.

УДК 621.746

В. А. Мамишев, О. И. Шинский, Л. А. Соколовская

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

**ОБ УПРАВЛЕНИИ ИНТЕНСИВНОСТЬЮ ТЕПЛООБМЕНА
В ПРОЦЕССЕ ЗАТВЕРДЕВАНИЯ ОТЛИВОК В ФОРМЕ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПЛАКИРОВАННОЙ ДРОБИ**

Фасонные отливки получают в податливых и газопроницаемых песчаных формах, чтобы предотвратить образование в литом металле горячих трещин и обеспечить отвод газов, образующихся при кристаллизации расплава. Поэтому податливость и газопроницаемость можно отнести к основным преимуществам песчаных форм по сравнению с металлическими формами (кокилями). Однако низкая теплопроводность песчаных форм не позволяет получать массивные отливки с высокой прочностью и пластичностью литого металла.

Время затвердевания крупных отливок в полости песчаных форм очень большое из-за низкой интенсивности теплоотвода от кристаллизующегося расплава к стенкам песчаной формы и затем в окружающую среду. При низкой скорости затвердевания крупных отливок в песчаных формах увеличивается время пребывания сплава в жидком состоянии. Так как при затвердевании расплава образовавшиеся кристаллы непрерывно растут, то в теле массивной отливки формируется крупнокристаллическая структура, что является основной причиной низких прочностных и пластических свойств литого металла.

Чтобы повысить уровень физико-механических и эксплуатационных свойств литого металла, необходимо в системе отливка – форма создать такие температурные условия затвердевания расплава, которые могут обеспечить получение более мелкой кристаллической структуры крупных отливок. Этому способствует интенсификация теплообмена в объеме формирующейся отливки и от затвердевающего расплава через стенки формы во внешнюю среду.

Однако чрезмерное ускорение внешнего теплообмена между отливкой и формой может оказать неблагоприятное влияние на кристаллическую структуру крупных отливок из железоуглеродистых сплавов. Например, в наружных слоях чугуновых отливок при интенсивном теплоотводе от кристаллизующегося сплава в форму в поверхностных слоях затвердевающей отливки может возникать отбел чугуна. Так как

наружные слои чугунной отливки с отбелом хрупкие и очень твердые, то затруднена последующая механическая обработка отливок резанием. Поэтому процессом внешнего теплообмена между затвердевающей массивной отливкой и формой целесообразно управлять, чтобы не допустить образования нежелательной структуры в поверхностных слоях литых изделий.

Эффективным средством управления процессом теплообмена в зоне термического контакта отливки с формой является замена кварцевого песка на стальную или чугунную литую дробь, плакированную для защиты гранул от окисления и возникновения ржавчины при хранении дробы. Так как по теплопроводности гранульно-пористая форма находится между монокристаллическим высокотеплопроводным металлическим кокилем (постоянная форма) и низкотеплопроводной песчаной формой (разовая форма), то интенсивностью теплоотвода от затвердевающей отливки к стенкам гранульно-пористой формы можно управлять за счет изменения толщины насыпного слоя этой формы.

При получении отливок в гранульно-пористых металлических формах на интенсивность теплообмена в системе отливка – форма влияют толщины стенок формы и защитной огнеупорной краски, а также начальная температура чугунной или стальной дробы. Для управления процессом затвердевания можно осуществлять продувку отдельных частей гранульно-пористой формы воздухом, холодным или горячим газом, чтобы получить дифференцированный режим теплоотвода от поверхности охлаждения отливок из черных (сталь, чугун) или цветных (бронза, латунь, силумин и др.) промышленных сплавов.

Для рациональной интенсификации теплообмена в технологиях литья полезно совмещать [1,2] схемы внутреннего теплоотвода от жидкого металла к плавящимся гранулам-микрохолодильникам со схемами внешнего теплоотвода от кристаллизующейся расплава затвердевающих крупных отливок через стенки гранульно-пористых металлических форм в окружающую среду.

Список литературы

1. *Мамишев В.А.* О повышении эффективности теплообмена в системе литая заготовка – форма – окружающая среда / *Металл и литьё Украины*, 2012. – № 11. – С. 31 – 35.
2. *Соколовская Л.А.* Учёт теплового сопротивления неметаллических прослоек в контактной зоне теплообмена / *Литейное производство: технология, материалы*,

оборудование, экономика и экология. Матер. междунаrod. научно-практ. конф. – Киев: ФТИМС НАНУ, – 2011. – С. 256 – 258.

УДК 621.74.04:669.131.7

О. А. Могилевцев, С. А. Стороженко

Дніпровський державний технічний університет, Кам'янське

ПРОЦЕССЫ МОДИФИЦИРОВАНИЯ ЧУГУНА МАГНИЕМ

Механические и специальные свойства чугуна в решающей степени зависят от состояния углерода. При кристаллизации по стабильной системе форма графитных включений может быть весьма разнообразной. Ее принято называть пластинчатой, междендритной, гнездообразной, вермикулярной, компактной, шаровидной. Чугун с шаровидным графитом (ЧШГ) стал в настоящее время основным промышленным сплавом в мировом литейном производстве, благодаря исключительному сочетанию механических, литейных свойств, простоте технологии получения, низкой стоимости.

Большинство исследователей считает, что образованию шаровидного графита (ШГ) «способствует» ввод в чугун таких элементов как магний, церий, другие РЗМ, иттрий, кальций, натрий и другие. Однако с этим утверждением трудно согласиться. «Шаровидные» включения, получаемые при вводе разных элементов, мало похожи друг на друга. Вполне возможно, что и механизм их образования разный. Практика показала, что только при обработке чугуна магнием можно получить графитные включения правильной шаровидной формы. При обработке РЗМ, кальцием и некоторыми другими элементами получается графит той или иной степени компактности, но не шаровидный. Начиная со времени получения ЧШГ, было выдвинуто несколько гипотез о механизме его образования, однако ни одна из них не в состоянии объяснить всех явлений, наблюдаемых на практике.

Основные положения гипотезы, основанной на конденсации пузырьков магния при снижении температуры жидкого чугуна [1, 2] состоят в следующем.

Давление в пузырьке радиуса r , расположенном в чугуне на глубине H , складывается из трех составляющих: атмосферного, ферростатического и капиллярного давлений.

При вводе магния могут образоваться только такие пузырьки, радиус которых обеспечивает суммарное давление не более того, которое соответствует температуре кипения магния, равной температуре чугуна. Пузырьки меньшего размера не образуются. По мере снижения температуры чугуна и расхода магния на химические реакции размер пузырьков уменьшается, давление в них растет, температура кипения повышается. Когда она станет больше температуры чугуна, магний в пузырьках будет конденсироваться, переходя из газообразного состояния в жидкое. Пузырьки превратятся в капли жидкого магния.

Так как углерод в чугуне является поверхностно активным, поэтому он будет адсорбироваться на поверхности пузырьков любого радиуса. При конденсации (коллапсе) пузырька его поверхность уменьшается в сотни раз, соответственно увеличивается толщина адсорбированного слоя (при сохранении его объема). Внутри слоя происходит перестройка атомов углерода. При этом могут образоваться самые разнообразные кристаллические структуры.

Известно, что различие в свободной энергии различных кристаллических форм углерода невелико, поэтому образуется смесь из графита, фуллеренов, графена и других форм. Этим можно объяснить различные конфигурации включений ШГ (многогранные, шишковидные и др.). Важно, что в целом включение сохраняет сферическую форму и может служить зародышем ШГ.

В статье [1] было показано, что в образовании зародышей шаровидного графита могут принимать участие пузырьки магния радиусом от 4 до 50 мкм. Их коллапс будет происходить в процессе охлаждения чугуна от 1400 до 1150°C. Вначале сконденсируются более мелкие пузырьки, затем - более крупные.

Расчет показывает, что при конденсации пузырька радиуса 4 мкм образуется капля радиуса 0,35 мкм, а пузырька 50 мкм – капля радиуса 2,6 мкм. Проверено, что такие капли служат зародышами ШГ (пренебрегая толщиной слоя углерода на поверхности капли). Расход магния, необходимый для образования зародышей ШГ, незначителен.

Таким образом, на основе предлагаемой гипотезы можно объяснить не только форму включений ШГ, но и другие факты, имеющие место на практике, например, отсутствие модифицирующего эффекта, если при вводе магния пузыри не образуются.

Список літератури

1. Могилевцев, О.А. О механизме образования шаровидного графита в чугунах / О.А. Могилевцев // Сборник научных трудов ДГТУ, серия Металлургия. – Днепропетровск: Издательство ДГТУ, 1998. – С. 21-24.
2. Могилевцев, О.А. Роль пузырей модификатора в образовании зародышей шаровидного графита в чугунах / О.А. Могилевцев // Теория и практика металлургии. – 1999 - № 4 – С. 31-33.

УДК 621.039.64:62-413/-415

Р. С. Надашкевич, В. П. Лихошва

Фізико-технологічний інститут металів і сплавів НАН України, м. Київ

Тел./факс.: 044 424-3230, e-mail: 58r80ua80@ukr.net

СТІЙКІСТЬ ПРОЦЕСУ ПОВЕРХНЕВОГО НАГРІВУ ПЛАСТИНИ ПЛАЗМОВИМ ДЖЕРЕЛОМ СТРУМУ

Виробництво біметалевих виробів знаходить все більше застосування у гірничо-металургійному комплексі, машинобудуванні, цементній промисловості, дорожньому будівництві. В порівнянні з монометалевими виробами, біметал значно збільшує ресурс виробництва, що дає змогу забезпечити безперебійність роботи, а значить збільшити продуктивність. Процес створення біметалу в ливарному виробництві полягає в послідовному заливанні рідкого металу основи та рідкого металу робочої частини. В собівартість процесу закладено виготовлення спеціальної оснастки та застосування ливарних форм. Тому дослідження направлені на пошук нових більш економічних методів створення біметалу, а саме нового гібридного ливарно-плазмового методу. Суть якого полягає в створенні джерелом плазми локальної рідкої ванни на поверхні холодної металевої пластини та подальшому заливанні в неї підготовленого рідкого розплаву. Складність реалізації процесу полягає в рівномірному нагріванні поверхні холодної пластини, та витримки у часі температурного інтервалу. Дослідження поверхневого нагріву проводили з використанням плазмової установки Київ-4М та маніпулятора для переміщення плазмотрона ВПР-1.

Виявлені залежності швидкості переміщення плазмотрона та глибини отриманої локальної рідкої ванни, при різних вольт амперних характеристиках джерела плазми. Встановлено оптимальні швидкості переміщення для 3 заданих режимів роботи плазмової установки, що дають можливість отримати локальну рідку ванну глибиною до 0.2 мм та шириною до 2 мм. Отримані швидкості переміщення плазмотрона дуже важко застосувати в тандемі з ливарними методами при незначних розмірах отриманої проплавленої зони на поверхні пластини. Тому для збільшення ширини зони термічного впливу та кореляцією швидкості переміщення плазмотрона із швидкістю заливання розплаву було запропоновано позовжньо скануюче переміщення плазмотрона. Під час дослідів було реалізовано дві схеми, маятникового та позовжньо поступального типу переміщення плазмотрона. Отримані результати свідчать про те що за допомогою маятникового типу важко отримати рівномірний нагрів поверхні пластини. По краях отриманої локальної рідкої ванни спостерігалися значні заглиблення, що зумовлено технологічно, та має певний технологічний діапазон створення по ширині зони проплавлення. Проте дана схема має просту реалізацію без значних затрат. Схема позовжньо поступального типу дає можливість отримати рівномірну локальну рідку ванну. Обмеження проплавлення по ширині накладаються лише температурним чинником, оскільки при великих діапазонах поперечного переміщення відбувається охолодження пластини, що виключає її з необхідного температурного інтервалу, який необхідно досягти по всьому периметрі отриманої локальної рідкої ванни.

Розкладання швидкості по двом координатам дає змогу зменшити позовжню швидкість переміщення плазмотрона, збільшивши при цьому поперечну. Що дає змогу отримати рівномірний нагрів по всій ширині отриманої локальної рідкої ванни, та синхронізувати зі швидкістю подачі рідкого розплаву.

Отримані результати свідчать, що за допомогою висококонцентрованого джерела плазми можливо досягти рівномірного нагріву поверхні пластини для подальшого застосуванні у гібридному ливарно-плазмовому процесі.

УДК 621.74.045:669.162.275

І.А. Небожак

Фізико-технологічний інститут металів і сплавів НАН України, Київ

**ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ЛГМ-ПРОЦЕСУ НА
ЕФЕКТИВНІСТЬ ГРАФІТИЗУЮЧОГО МОДИФІКУВАННЯ СІРОГО
ЧАВУНУ У “ПОРОЖНИНІ” ЛИВАРНОЇ ФОРМИ**

Унікальним конструкційним матеріалом з гарними ливарними і технологічними характеристиками, який у машинобудуванні набув широкого розповсюдження для виготовлення деталей машин і механізмів загального призначення, є сірий чавун. З економічних і технологічних міркувань, у цій роботі було використано сірий чавун марки СЧ30 ГОСТ 1412-85 (СТ СЭВ 4560-84).

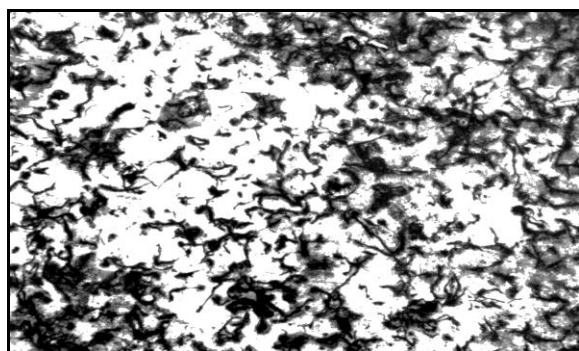
Суттєвим недоліком цього матеріалу є його схильність до відбілювання, яке придає крихкості чавунним виливкам, збільшує їх твердість, і, як наслідок того, погіршує їх здатність оброблятися різанням. Відомо ряд технологічних прийомів [1, 2], серед яких варто виділити, насамперед, графітизуюче відпалювання придатного литва у термічних печах і графітизуюче модифікування рідкого металу перед його заливкою у ковші, що, відповідно, усуває відбілювання й запобігає його появі.

Приймаючи до уваги усе те, що було сказано раніше [1], графітизуюче модифікування чавунного розплаву здійснювали у “порожнині” ливарної форми за допомогою дисперснонаповненої моделі [2], що газифікується. В якості модифікатора у роботі застосували пиловидні відходи такого комерційно доступного феросплаву як феросиліцій марки ФС75 ГОСТ 1415-93 (ІСО 5445-80).

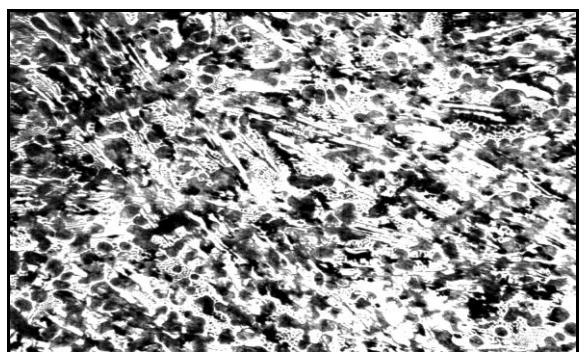
МГА структури чавуну, модифікованого дисперсним феросиліцієм, показав, що у “контрольній” площині піддослідного зразка переважає мікроструктура характерна для сірого чавуну перлітного класу [рис. 1 (а)], який відповідає марці СЧ30 ГОСТ 1412-85 (СТ СЭВ 4560-84). Порівняльна характеристика мікроструктури матеріалу контрольного вилівка [рис. 1 (б)], отриманого із вихідного чавуну, дозволила довести, що морфологія структурних складових цього зразка в усіх темплетях є практично однаковою, і відповідає мікроструктурі білого чавуну.

У даній роботі було досліджено також вплив технологічних параметрів ЛГМ-процесу на механічні властивості сірого чавуну. Експериментально встановлено, що між незалежними факторами й твердістю отриманого матеріалу існує функціональ-

ний зв'язок, який заданий у табличній формі.



а



б

Рис. 1 – Мікроструктура ($\times 100$) матеріалу у “контрольній” площині піддослідних виливків: а – сірий чавун; б – білий чавун

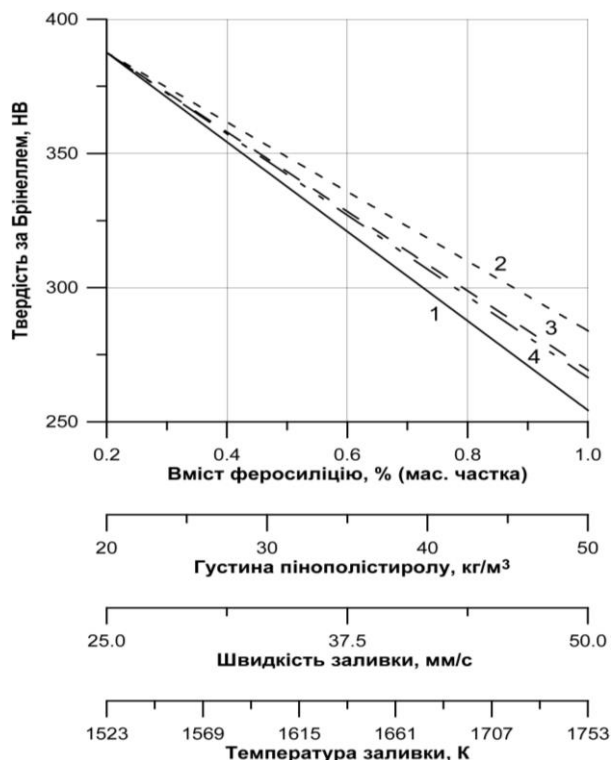


Рис. 2 – Вплив технологічних параметрів ЛГМ-процесу на твердість сірого чавуну: 1 – вмісту феросиліцію; 2 – густини пінополістиролу; 3 – швидкості заливки; 4 – температури заливки

Щоб з'ясувати його характер, було проведено регресійний аналіз результатів повнофакторного експерименту та отримано відповідні рівняння регресії. Ці рівняння [1] являють собою емпіричні рівняння, які аналітично описують залежність твердості піддослідного матеріалу від того чи іншого незалежного фактора.

Графічна інтерпретація (рис. 2) експериментальних даних дозволила встановити яким саме чином та якою мірою комплексно впливають вміст дисперсного феросиліцію у “тілі” моделі, що газифікується, густина пінополістиролу, швидкість і температура заливки на твердість матеріалу литих зразків.

Список літератури

1. Небожак И.А., Суменкова В.В., Шинский О.И. Влияние технологических параметров ЛГМ-процесса на эффективность графитизирующего модифицирования серого чугуна в “полости” литейной формы // Металл и литьё Украины. – 2016. – №

5. – С. 9 – 17.

2. Використання дисперснонаповнених моделей, що газифікуються, для отримання чавунних виливків / І.А. Небожак, В.В. Суменкова, О.Й. Шинський, О.О. Онищук // Металознавство та обробка металів. – 2005. – № 4. – С. 19 – 22.

УДК 669.14.018.5:621.375.826

**В. Г. Новицкий, С. Я. Шипицын, В. А. Локтионов-Ремизовский,
А. П. Шатрава, И. В. Олексенко**

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

Тел. 044 4241322, e-mail: v_novytskyi@ukr.net

ВЛИЯНИЕ ЛАЗЕРНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТАЛИ Fe-18Cr-10Cu-1,2C

Требование повышения мощности, передаваемой через узлы трения, вызывает необходимость использования материалов с твердой (матричной) смазкой. В зависимости от условий внешнего трения на рабочих поверхностях таких материалов на участках твердой составляющей формируются экранирующие пленки из пластического материала, образованные либо за счет разницы коэффициентов термического расширения антифрикционной и твердой составляющих при нагреве пары трения, либо в результате механического намазывания. Эти пленки предохраняют контактируемые материалы от чрезмерного изнашивания. В качестве твердой смазки могут служить выделения высококомедистой ε - фазы, дополнительно легированные алюминием. В этом случае высококомедистые выделения будут представлять алюминиевые бронзы. Исследуемым объектом служила литая сталь Fe-18Cr-10Cu-1,2C, дополнительно легированная алюминием (1,5%) и модифицированная титаном (0,6%). Сталь исследовалась в литом состоянии (а) и после лазерного воздействия (б). Для этого рабочую поверхность стали подвергали воздействию непрерывного CO₂ – лазера с оплавлением поверхности. На рабочей поверхности образца формировали лучом лазера 4 полосы на некотором расстоянии друг от друга вдоль направления трения.

После лазерного воздействия исходная структура поверхностного слоя стали претерпевает существенные изменения и можно выделить несколько зон, формиро-

вание которых обусловлено как термическим воздействием, так и условиями кристаллизации оплавленной зоны (рис. 1). Микроструктура стали, полученная на продольных шлифах, позволяет идентифицировать зону термического влияния (ЗТВ), обусловленную закалкой твердого раствора. Эта зона выявляется слабо, так как в исходном состоянии матрица стали состояла практически из γ – фазы и после лазерного воздействия происходило только увеличение количества γ – фазы. После ЗТВ расположена зона оплавления (ОП), которая состоит из 2 характерных слоев: переходный слой, непосредственно прилегающий к зоне термического влияния, с характерным расположением дендритов, кристаллизующихся в направлении максимального отвода тепла. Дисперсность дендритной структуры этого слоя на порядок выше, чем ЗТВ. За переходным слоем расположен слой меди, которая вытесняется фронтом кристаллизации из переходного слоя на поверхность и кристаллизуется в последнюю очередь. В слое меди располагаются твердые включения.

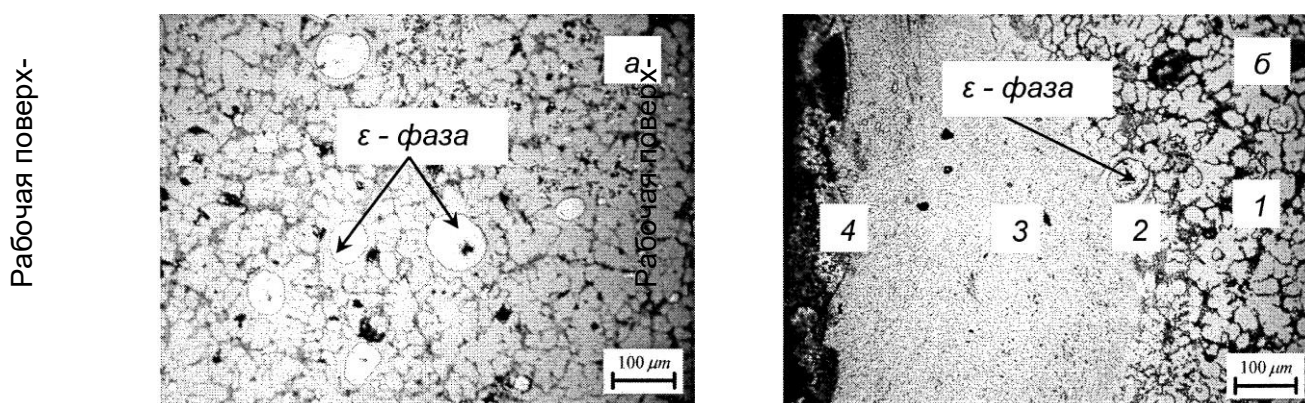


Рис 1. Микроструктура стали 120X18Д10 в литом состоянии (а) и после лазерного воздействия (б); 1 – исходная структура; 2 – зона термического влияния (ЗТВ); 3 – переходный слой; 4 – слой меди.

Фазовый состав и параметры тонкой структуры стали до и после трения осуществляли при помощи рентгеноструктурного анализа ($\text{FeK}\alpha$ -излучении). Испытания на износостойкость стали проводили по схеме вал (контртело) – вкладыш (опытный образец). Контртело изготавливалось из стали 20X13, HRC 38-40. Скорость скольжения составляла 1 м/с и удельная нагрузка 5 МПа. Испытания стали проводили в условиях граничного (в зону контакта подавалась вода) трения. Интенсивность изнашивания сталей для состояния (а) и (б) составила 0,6 и 0,48 г/км соответственно, а коэффициент трения 0,55 и 0,39. Интенсивность изнашивания и коэффициент трения стали после лазерного воздействия меньше в 1,25 и 1,4 раза соответственно.

На рабочей поверхности стали в литом состоянии наблюдается 12,3% меди, а после лазерного воздействия количество меди увеличивается до 46%. После трения количество меди составляет соответственно 12,8 и 13,3%. При этом следует отметить, что на контртелах из стали 20Х13 появляется медь в количестве 3,0 и 4,3% соответственно.

Лазерное воздействие на рабочую поверхность увеличило количество γ – фазы с 50 до 83% по отношению к исходному состоянию. При этом величина микроискажений II рода $(\Delta a/a)_{\gamma}$ уменьшается до нуля, а микроискажения III рода $(\sqrt{u^2})_{\gamma}$ увеличиваются в 2 раза. Размер блоков D_{γ} уменьшается в 3 раза, а плотность дислокаций ρ_{γ} уменьшается в 2 раза.

После трения количество γ – фазы в поверхностном слое трения уменьшается до 30 и 70% соответственно для стали в литом состоянии (а) и после лазерного воздействия (б). Микроискажения II рода $(\Delta a/a)_{\gamma}$ после трения стали с лазерным воздействием (б) не изменяются по отношению к исходному состоянию и равны нулю.

Таким образом, лазерное воздействие на рабочую поверхность стали приводит к существенному увеличению количества меди на поверхности стали, изменению её фазового состава и тонкой структуры, а также способствует интенсификации переноса меди на поверхность контртела, что способствует плакированию контактируемых поверхностей. Это приводит к уменьшению интенсивности изнашивания и коэффициента трения.

УДК 669.18:621.771:621.74

А.В. Ноговицын, И.Р. Баранов

Физико-технологический институт металлов и сплавов (ФТИМС) НАН Украины

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ПРОЦЕССА ДВУХВАЛКОВОЙ РАЗЛИВКИ-ПРОКАТКИ СТАЛЬНОЙ ПОЛОСЫ

Валковая разливка-прокатка является одним из наиболее перспективных и эффективных процессов производства тонкого стального листа. К преимуществам этой технологии относятся компактность агрегата и экономия до 80-89% энергоресурсов за счет минимизации промежуточных технологических операций. Однако наладить устойчивый высокопродуктивный промышленный процесс двухвалковой разливки и обеспечить стабильное получение качественной полосы на сегодня в

полной мере не удастся. Ряд проблем, связанных со сложностью управления гидродинамическими, температурными, кинетическими процессами литья-прокатки требуют дальнейших исследований и усовершенствований всех этапов технологического процесса. В Физико-технологическом институте металлов и сплавов (ФТИМС) НАН Украины проведен цикл экспериментальных и теоретических исследований процесса разлива-прокатки стальной полосы. Установлено, что решающей характеристикой процесса формирования полосы в валковом кристаллизаторе является положение точки смыкания затвердевших корочек относительно плоскости оси валков (точки "S"). Если точка "S" значительно выше линии осей валков («бесслитковая прокатка»), то в результате деформации затвердевшего металла усилие на валки возрастает. С одной стороны это вызывает необходимость увеличивать мощность привода и прочность конструкции кристаллизатора, с другой, может привести к появлению трещин вследствие эффекта прокатки. Наоборот, если точка смыкания фронтов кристаллизации находится ниже линии осей валков («жидкая прокатка»), то из валков выходит полоса с жидкой сердцевинкой. Рассчитаны скорости разлива стальных полос толщиной от 1 до 5 мм с обжатием (15%) и без обжатия в валках различного диаметра. Из расчетов следует, что осуществление валковой разлива полосы с обжатием приводит к заметному снижению скорости разлива-прокатки. Например, для стальной полосы толщиной 2 мм при обжатии 15% скорость разлива снижается в 3 раза (с 164 до 52 м/мин) по сравнению с разливкой без обжатия. Увеличение угла контакта металла с валком (уровня заливки металла) приводит к существенному росту скорости разлива. Так, для полосы толщиной 1 мм увеличение угла кристаллизации-деформации на 10^0 приводит к росту скорости разлива в два раза. Полученные результаты расчетных скоростей разлива для стальных полос количественно близки к показателям существующей коммерческой установки Castrip компании Nucor. Сопоставив применяемую на данной установке при разливе полосы 1,6 мм в валках диаметром 500 мм рабочую скорость 80 м/мин, можно сделать вывод, что разливка-прокатка полосы осуществляется с обжатием 15%. Скорость разлива должна регулироваться пропорционально изменению высоты налива. Увеличение высоты налива при постоянной (нерегулируемой) скорости приводит к увеличению степени деформации, которая может достигать критической величины, приводящей к появлению в полосе трещин. Важным фактором стабильной технологии валковой разлива является обеспечение постоянной температуры металла, подаваемого в валки-кристаллизаторы. Показано, что

изменение температуры металла на 10°C приводит к изменению толщины корочки стали на 0,05 мм, что приводит к изменению обжатия на 3% (абс.) при постоянной скорости разливки, что в свою очередь может приводить к продольной разнотолщинности полосы, а также может содействовать появлению трещин.

Немаловажную роль в валковой разливке играет способ подачи расплава в валки-кристаллизаторы. Проведенное исследование показало, что увеличение длины щелевого питателя от 25 до 100% длины валка-кристаллизатора обеспечивает более равномерное распределение температуры в межвалковом канале, а перепад температур по ширине полосы на выходе из валков уменьшается с 80°C до 10°C . Таким образом, установленные закономерности показали, что необходимыми условиями для стабильного процесса валковой разливки являются постоянство температуры и расхода подаваемого в валки-кристаллизаторы металла, равномерное его распределение по длине межвалкового зазора. Решение этой задачи возможно путем применения МГД-оборудования. В ФТИМС НАН Украины разработана концепция и принципиальная схема процесса валковой разливки стали, главным признаком которой является использование магнитодинамического промежуточного ковша (МД-ПК), созданного на базе магнитодинамического миксера-дозатора жидкой стали.

УДК: 621.74.04

А.С. Нурадинов, В.Ю. Шейгам, А.Г. Пригунова, Т.Г. Цир, Л.К. Шеневидько

Физико-технологический институт металлов и сплавов

НАН Украины, Киев

Тел.: 0444241150, e-mail: onmlptima@ukr.net

ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛОКАЛЬНОГО КРИСТАЛЛООБРАЗОВАНИЯ В ПРОЦЕССЕ ВИБРАЦИИ

Накопленные к настоящему времени экспериментальные и теоретические данные раскрывают возможность активного воздействия на процессы кристаллизации, формирование структуры и свойств отливок, слитков и литых заготовок путем использования различных приемов внешнего физического воздействия на жидкий и кристаллизующийся металл (вибрация, ультразвук, электромагнитное перемешивание и т.п.). Но для эффективного управления этими процессами необходимо даль-

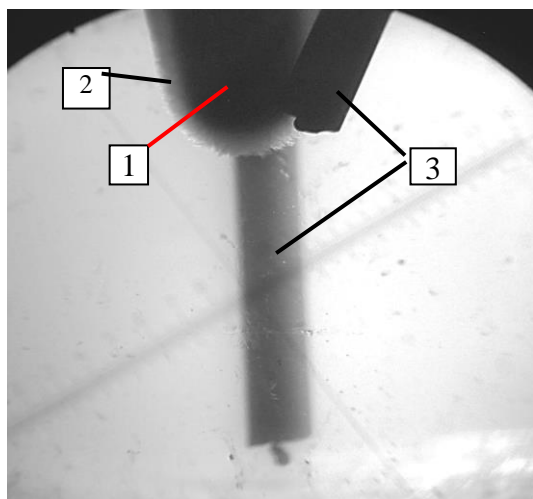
нейшее развитие теории кристаллизации металлов и сплавов на базе фундаментальных исследований процессов формирования кристаллической структуры в условиях силовых воздействий на затвердевающий металл. Широкие перспективы в этом плане представляет физическое моделирование процессов кристаллизации и структурообразования сплавов на прозрачных органических средах. В настоящей работе изучено формирование структуры отливок из сплава камфена (90 %) с трицикленом (10 %) под действием вибрирующего кристаллизатора в поверхностном слое затвердевающего расплава. Температура ликвидус моделирующего сплава равна 45 °C, солидус – 42 °C.

В процессе моделирования проводили эксперименты без кристаллизатора, с неподвижным и вибрирующим кристаллизатором.

В первой серии экспериментов в форму заливали моделирующий сплав с перегревом выше температуры ликвидус $2 \pm 0,8$ °C и фиксировали процесс его затвердевания. Во второй – в перегретый расплав на глубину 8-10 мм опускали неподвижный кристаллизатор, который имел комнатную температуру. При этом практически одновременно на всей его поверхности образуются кристаллы, которые растут перпендикулярно поверхности кристаллизатора. (рис.1). Затем направление роста кристаллов становится хаотичным, вплоть до полного затвердевания расплава.

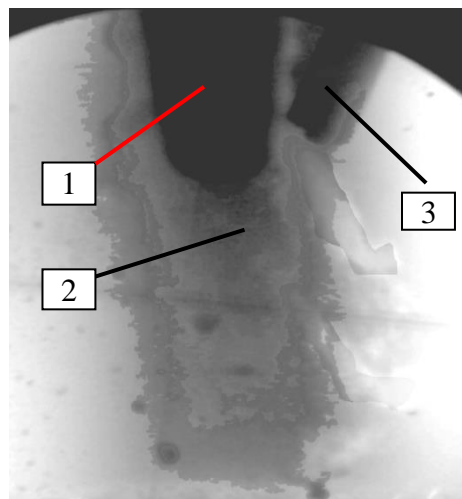
В третьей серии опытов в нагретый до тех же температур моделирующий сплав устанавливали вибрирующий кристаллизатор, который, как и в предыдущем опыте, имел комнатную температуру. При введении вибрирующего кристаллизатора с него осыпаются отдельные кристаллы и их конгломераты, со временем формируя сплошной поток (рис.2). На дне формы образуется насыпной конус кристаллов. При перемещении кристаллизатора в другое место картина повторяется. Процесс осыпания является непрерывным и позволяет создавать центры кристаллизации в заданных зонах отливки.

Проведенные эксперименты по вибрации кристаллизатора в поверхностном слое затвердевающей отливки из алюминиевых сплавов полностью подтвердили результаты физического моделирования.



1 – кристаллизатор; 2 - кристаллы модельного вещества; 3 – термопары.

Рисунок 1 – Конгломерат кристаллов на неподвижном кристаллизаторе.



1 – кристаллизатор; 2 - кристаллы модельного вещества; 3 – термопары.

Рисунок 2 – Поток кристаллов с вибрирующего кристаллизатора.

Таким образом, в результате проведения работ установлено, что перемещением вибрирующего кристаллизатора в поверхностном слое затвердевающего расплава можно управлять процессами кристаллизации отливок, направляя генерируемые мелкие кристаллы в требуемые места формирующейся отливки в зависимости от технических требований к детали.

УДК 621.745:669.35:532.695.2:537.811

А. А. Паренюк, В. А. Середенко

Физико-технологический институт металлов и сплавов

НАН Украины, г. Киев

СТАБИЛИЗАЦИЯ ЭМУЛЬГИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ СПЛАВА НА ОСНОВЕ МЕДИ С ЗОНОЙ НЕСМЕШИВАНИЯ ЖИДКИХ ФАЗ ПРИ ПЛАВКЕ В ИНДУКЦИОННОЙ ТИГЕЛЬНОЙ ПЕЧИ

Установлены определяющие факторы, повышающие стабильность микроэмульгированного или микросуспензионного состояний жидких металлических сплавов с помощью переменного электромагнитного поля индукторов (соленоидов) в цилиндрических емкостях, при локализации электромагнитных объемных сил, вследствие скин-эффекта, в поверхностном слое. Проведен анализ известных безразмер-

ных параметров [1,2]: $\tau \cdot d^2 \cdot B^2 / (v \cdot \mu \cdot R^2)$ и R/Δ (где τ – время действия поля, с; d – диаметр включений дисперсной фазы, м; B – индукция магнитного поля, Тл; v – кинематическая вязкость расплава, $\text{м}^2/\text{с}$; μ – магнитная проницаемость расплава, Гн/м; R – радиус емкости; Δ – глубина проникновения электромагнитного поля в расплав, м) с учетом условий активного удаления дисперсной фазы из расплава (до максимальных значений первого параметра, а второго к значению равному 2), и получено объединенное выражение для расплава на медной основе: $4,3 \cdot 10^{15} \cdot \tau \cdot f \cdot (d \cdot B)^2$. Определено, что стабильности микроэмульсии наиболее способствует составляющая выражения $(d \cdot B)^2$, поскольку величины d и B значительно меньше 1, а квадрат их произведения составляет очень малое значение. Величины τ и f , наоборот, имеют очень большие значения. Поэтому, чем более дисперсная эмульсия (чем меньше размер дисперсной фазы d) и меньше индукция поля B , тем стабильнее микроэмульсионное состояние расплава.

Проанализировано влияние режима движения мелкодисперсных эмульсий в рамках локально-изотропной турбулентности на их коалесценцию. Энергия диссипации определяет интенсивность взаимодействия капель, размеры которых меньше микромасштаба пульсаций скорости циркуляционного потока расплава в ИТП. Кардинальным решением вопроса стабилизации микроэмульсии является перевод движения расплава после достижения этого состояния в ламинарный режим и последующее охлаждение сплава до микросуспензионного состояния, а затем разливка ламинарным потоком или в условиях скоростного охлаждения сплава.

Список литературы

1. *Li K.* Theoretical and experimental investigation of aluminium melt cleaning using alternating electromagnetic field / Li K., Wang J., Shu D., Li T. X., Sun B. D., Zhou Y. H. // Mater. Lett. – 2002. – №3 (56). – P. 215-220.
2. *Shu D.* Continuous separation of inclusions from aluminum melt flowing in a circular pipe using a high frequency magnetic field / Shu D., Sun B., Li K., Wang J. // J. Mater. Sci. and Technol. – 2003. – №3 (19). – P. 221-225.

УДК 621.745.5/435:669.35:621.365.52.029.45

А. А. Паренюк, В. А. Середенко

Физико-технологический институт металлов и сплавов

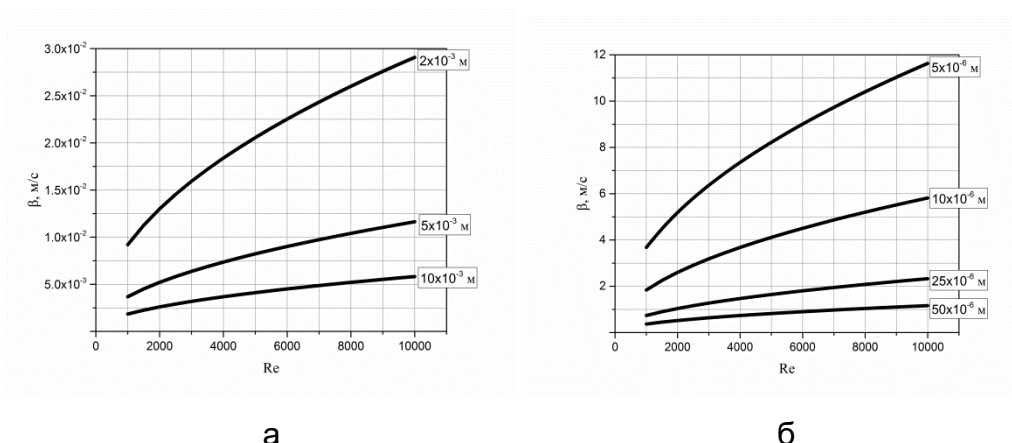
НАН Украины, г. Киев

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАСТВОРЕНИЯ ЛИГАТУРЫ FeCrC В МЕДНОМ
РАСПЛАВЕ В ИНДУКЦИОННОЙ ТИГЕЛЬНОЙ ПЕЧИ**

При выплавке в индукционных тигельных печах (ИТП) медных сплавов с добавкой FeCrC легирующий сплав вводится в измельченном состоянии (2-10 мм). Поскольку зона действия электромагнитного поля в ИТП из-за скин-эффекта локализуется в тонком слое боковой поверхности расплава, обращенного к индуктору и в зависимости от частоты питающего индуктор электротока для медного расплава величина эквивалентной глубины проникновения, используемой в расчетах, не превышает 2 мм. Поэтому размер добавки для эффективного воздействия на нее электромагнитных сил должен быть существенно меньше 2 мм. Так как объем расплава в тигле ИТП намного превышает объем зоны непосредственного действия электромагнитного поля исследовано влияние вне этой зоны дисперсности твердой добавки FeCrC на ее растворение в жидкой меди.

Использовано выражение для определения массообменного числа Нуссельта (Nu), предложенное в работе [1]: $Nu = 0,8 \cdot \sqrt[3]{Sc} \cdot \sqrt{Re}$, где Sc – число Шмидта; Re – число Рейнольдса. При этом коэффициент массопереноса β определялся с использованием известного выражения: $\beta = NuD/l$, где D – коэффициент диффузии железа, как основного компонента лигатуры в жидкую медь, м²/с; l – характерный размер добавки, м.

При рассмотрении условий растворения в медном расплаве добавки с указанными выше размерами установлена зависимость β от числа Re и размера легирующей добавки – рис.



а

б

Рис. – Зависимость коэффициента массопереноса β от значения критерия Re (числа у кривых характерный размер добавки, d): а – d в миллиметровом диапазоне; б – d в микронном диапазоне.

Как видно из рисунка а, наибольшее значение β (порядка $3 \cdot 10^{-2}$ м/с) в миллиметровом диапазоне d достигается при минимальном размере добавки и максимально реализуемых числах Re (>10000). Измельчение добавки до $d=50$ мкм ведет к повышению величины β до 1 м/с при $Re=10000$ (см рис. б). При уменьшении размера твердой добавки до 5 мкм значение β возрастает до 12 м/с. Ввод добавок микронных размеров в расплавы требует специальных приемов и энергозатратной технологии измельчения присадок. Разработана технология ввода в жидкую медь в тигле ИТП твердой лигатуры FeCrC со структурой сплава эвтектической системы. Она основана на проведении процесса растворении сплава при температуре медного расплава в температурном диапазоне между температурами ликвидус и солидус добавки FeCrC и организации локального электромагнитного воздействия в пограничном слое окружающей добавку. В результате таких приемов происходит разрушение твердой добавки за счет расплавления эвтектической составляющей сплава, отделение и унос в объем расплава зерен тугоплавкой фазы. При таких воздействиях добавка разрушалась на частицы с характерным размером 40 мкм, что обеспечивало значение β на уровне 2 м/с.

Список литературы

1. Аксельруд Г.А., Молчанов А.Д. Растворение твердых веществ. – М.: Химия, 1977. – 268 с.

УДК 621.745:669.35:537.811

А. А. Паренюк, В. А. Середенко

Физико-технологический институт металлов и сплавов

НАН Украины, г. Киев

**ВЗАИМНАЯ ДИФFUЗИЯ КОМПОНЕНТОВ ПРИ СПЛАВЛЕНИИ МЕДИ
С ЛИГАТУРОЙ FeCrC**

В качестве основы сплавов с высокими показателями тепло- и электропроводимости широко используется диамагнитная медь. Ряд медных сплавов относится к монотектической системе с зоной несмешивания в жидком состоянии Cu-Cr, Cu-Pb, Cu-FeC, Cu-FeCrC. Эти компоненты отличаются по многим свойствам (тепло- и электропроводимости, вязкости, магнитной проницаемости). Эти отличия существенно влияют на процесс приготовления сплавов заданных составов. Важное значение, при достижении равновесного состояния металлических систем, имеют диффузионные процессы. Анализ соотношения K_D коэффициентов взаимной молекулярной диффузии D компонентов (A - дисперсионная среда, B - дисперсная фаза) медных сплавов монотектической системы проведено на основе формулы Стокса-Эйнштейна:

$$K_D = D_{A-B} / D_{B-A} = \rho_A \cdot \nu_A \cdot r_B / (\rho_B \cdot \nu_B \cdot r_A) = K_\rho \cdot K_\nu \cdot K_r^{-1},$$

где D_{A-B} , D_{B-A} - коэффициенты молекулярной диффузии соответственно компонента A в B и B в A , $\text{м}^2/\text{с}$; ρ - плотность, $\text{кг}/\text{м}^3$; ν - кинематическая вязкость, $\text{м}^2/\text{с}$; r - атомный радиус, м ; K_ρ , K_ν , K_r - симплексы (соотношения) соответственно плотностей, кинематических вязкостей, атомных радиусов компонентов A и B . Для многих сплавов на основе Cu с зоной несмешивания жидких фаз $K_r \approx 1$, а K_ρ отличается от 1 максимум на 40 %. С учетом этого соотношение K_ρ/K_r можно считать приближенно равным 1. В тоже время значение соотношение вязкостей компонентов K_ν в ряде случаев может быть больше 3. В таких случаях ведущее влияние на K_D оказывает K_ν . Медные сплавы монотектической системы выплавляют в индукционных тигельных печах (ИТП). Лигатура FeCrC парамагнитна, со значительно большим, чем у Cu электросопротивлением, многокомпонентна и характеризуется наличием карбидной эвтектики, температура плавления которой ниже на несколько десятков градусов

температуры плавления матрицы (зерна сорбитизированного перлита). При сплавлении Cu со сплавом на основе Fe с 16 % мас. Cr и 1,4 % мас. C в медной матрице растворяется только Fe и Cr [1]. При этом количество добавляемого к Cu сплава сильно сказывается на концентрации в медной матрице растворяющихся железа и хрома. При 2 % вводимой добавки содержание железа (0,5 % мас.) в 25 раз превышает концентрацию растворенного Cr, повышение вдвое количества вводимой добавки приводит к увеличению содержания железа в 2,5 раза, а количества хрома возрастает в 11 раз. В этом случае для диффузии Fe в Cu $K_r = 0,93$, $K_p = 1,14$, для Cr в Cu $K_r = 0,87$, $K_p = 1,26$. Проведенные эксперименты показали, что в процессе расплавления всей добавки легкоплавкая фаза отделяется от жидкого объёма матрицы ($K_v > 0,3$) и образует компактный жидкий объём имеющий значение $K_v < 0,3$. При эмульгировании расплава формируется двойная эмульсия: капли на основе расплавленных зерен сорбитизированного перлита и капли на основе карбидной эвтектики. Капли на основе эвтектики долго насыщаются Cu, что затягивает процесс получения эмульгированного сплава с однородными по составу включениями на основе лигатуры. Переменное электромагнитное поле в ИТП прямо не действует на коэффициенты молекулярной диффузии, но существенно влияет на эффективный коэффициент диффузии через турбулизацию расплава и возбуждение микроциркуляционных МГД-течений, примыкающих к неоднородностям электросопротивления и магнитной проницаемости (лигатуры) в медном расплаве. Установлено, что интенсивность массообмена под действием электромагнитной силы F_e при получении эмульгированного расплава в зоне проникновения электромагнитной волны существенно возрастает при $F_e > 1 \cdot 10^5$ Н/м³. В объёме расплава массообмен ускоряется при переводе его в турбулентное состояние и минимальном размере твердой добавки.

Список литературы

1. Кириевский Б. А. Структура и свойства меди легированной хромистым чугуном / Б. А. Кириевский, Ю.В. Моисеев // Процессы литья. – 2016. – №2. – С. 64-71.

УДК 536.46:531.112:54-165

О.А. Пеликан, Е.А. Рейнталь, Д.В. Глушков, В.П. Лихошва

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

Тел./факс: (044) 424-32-30, E-mail: plazer_v@i.ua

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ СКОРОСТЬЮ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВОЛНЫ ТВЕРДОФАЗНОГО ГОРЕНИЯ

Оптимизация технологических параметров нагрева тонкостенной металлической подложки неразрывно связано с управлением тепловыделением при стационарном СВС-процессе. Для этого необходимо определить способы влияния на такие параметры, как: количество тепловой энергии, выделяемой одним граммом экзотермической смеси; скорость распространения волны горения; площадь поверхности волны горения; молярная масса веществ, участвующих в реакции взаимодействия.

В общем случае, скорость процесса СВС и температура реакции горения зависят от ряда параметров: термодинамических, физических, химических и технологических. Волна имеет определенную протяженность и состоит из ряда зон: зона прогрева или предпламенная зона (в ней реакции горения еще не протекают, а только осуществляется теплоперенос и нагрев экзотермической смеси); зона реакции (в ней протекают основные реакции горения); зона догорания (в ней продолжают реакции горения, но они не влияют на скорость распространения фронта); зона вторичных физико-химических превращений, определяющих состав и структуру конечных продуктов.

На основании представления о равномерности скорости основных зон волны горения в стационарном режиме в привязке к технологическому процессу получения биметаллического литья литейно-СВС методом экспериментально определена скорость волны горения для реакции $(\text{Fe}_2\text{O}_3 + 2\text{Al})$. Установлено, что энергоотдача и темп выделения энергии реакции $(3\text{TiO}_2 + 6\text{Al})$, по сравнению с предыдущей, значительно ниже. Однако, данная реакция может протекать совместно с реакцией $(\text{Fe}_2\text{O}_3 + 2\text{Al})$ в одном реакторе не нарушая протекание процесса обеих реакций, а только снижая общий темп выделения энергии. Следовательно, открывается возможность совместного использования этих реакций для поиска механизма управления скоростью течения реакции и темпом выделения тепловой энергии.

Таким образом, оптимизацию нагрева металлической подложки теплом реакции твердофазного горения при СВС-литейном процессе получения плоских биме-

таллических конструкций необходимо проводить на основе: подбора соотношений компонентов химической реакции или несколько совместно протекающих реакций, обеспечивающих необходимую скорость волны горения и темп выделения тепловой энергии; учета объемных изменений компонентов реакции и воздуха в процессе химической реакции; выбора геометрии и объема камеры горения при разработке реактора СВС; механизма управления плотностью исходных компонентов реакции.

Определен способ инициализации химической реакции для стабильного развития и дальнейшего ее протекания в условиях стационарного процесса, а также места поджога и направление движения волны горения.

УДК 621.744.3

О. И. Пономаренко¹, А.Н. Головчанский², С.Д. Евтушенко¹,

¹Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт», Харьков

²ООО «Флавия», Харьков

ПРИМЕНЕНИЕ ПЕСКОВ ШАРОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ДЛЯ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Формовочные пески – основной компонент формовочных и стержневых смесей: в формовочных смесях они составляют до 95% всей массы смеси, а в стержневых – 95 – 97%. В настоящее время наиболее широко применяются кварцевые формовочные пески: более 90% всех песков, потребляемых литейным производством.

Целью исследования является определение возможности применения песков Шаровского месторождения для форм и стержней в литейном производстве.

Шаровское месторождение находится в Харьковской области и занимает площадь примерно 14 га, а объем залегания песков составляет 1 млн.м³.

Для этого были решены следующие задачи: определен гранулометрический состав песка для различных горизонтов залегания Шаровского карьера ситовым анализом; определена массовая доля глинистой составляющей, массовую доля диоксида кремния, оксида железа, кальция, магния и др.; установлены предел прочности песка при сжатии во влажном состоянии и его газопроницаемость, а также концентрацию водородных ионов водной вытяжки и форма зерен.

По результатам исследования установлено, что на Шаровском месторождении пески можно условно разделить на две группы. Первая группа (условно названных «белыми» песками) имеют высокое содержание диоксида кремния (более 98%) и могут быть отнесены к категории кварцевых песков. Вторая группа (условно названных «желтыми» песками) может быть отнесена к категории тощих песков.

Показано, что пески Шаровского месторождения можно эффективно использовать в качестве огнеупорного наполнителя сырых песчано-глинистых смесей без предварительной обработки и очистки. Наибольшую чистоту имеют белые пески, который характеризуется высоким содержанием диоксида кремния и минимальным содержанием глины, что позволяет их использование в смесях со смоляным и жидко-стекольным связующим, при условии удаления мелких фракций песка (менее 0,16 мм). «Желтые» пески эффективно использовать в качестве огнеупорного наполнителя в сырых песчано-глинистых смесях. Формовочные пески могут быть использованы для средних и мелких отливок из стали, чугуна и цветных металлов.

УДК 621.746.6:669.35:542.62

А. Г. Пригунова, М. В. Кошелев, В. Ю. Шейгам, Т. Г. Цир, А. Г. Вернидуб

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

Тел.: 044-4241150, e-mail: adel_nayka@ukr.net

ЭВОЛЮЦИЯ МИКРОСТРУКТУРЫ ОТЛИВКИ ИЗ СПЛАВА АК5М2 В МЕДНОМ КРИСТАЛЛИЗАТОРЕ КЛИНОВИДНОЙ ФОРМЫ

В работе исследовано влияние условий охлаждения на параметры кристаллизации сплава АК5М2 при заливке жидкого металла в медную изложницу клиновидной V-образной формы (далее кристаллизатор) с теплоизолированными боковыми поверхностями. Сплав готовили в печи сопротивления. После достижения заданной температуры с поверхности расплава снимали шлак, перемешивали и в количестве 35 ± 2 г заливали в кристаллизатор. Термометрирование затвердевающего слитка проводили с помощью термопар, установленных на различной высоте по центральной оси кристаллизатора (рис.1). Температуру кристаллизатора контролировали в верхней его части, а заливаемого металла – в ковше. Температуры заливки составляли 720, 760, 860 и 905 °С. На рис.1 представлены схема расположения термопар

в медном кристаллизаторе и типичные кривые изменения температуры в этих участках (нумерация совпадает).

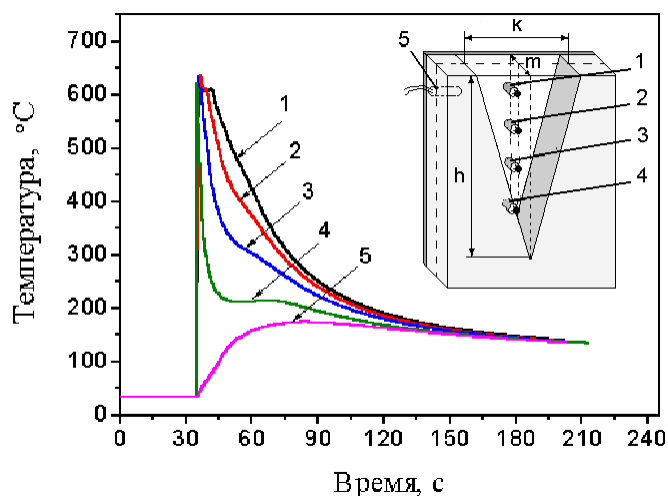


Рис.1. Схема расположения термодпар в медном кристаллизаторе и кривые изменения температуры

Заливка металла в кристаллизатор сопровождается его скачкообразным нагревом, существенным переохлаждением расплава и мгновенным зарождением значительного количества мелких кристаллов с преимущественным направлением роста близким к вектору градиента температуры. Образуются колонии столбчатых зерен, формируются плоские дендриты. Уменьшение (на порядок) градиента температуры и скорости кристаллизации, вызванные увеличением площади сечения отливки, способствует потере устойчивости поверхности растущих первичных ветвей дендритов, способствует развитию вторичных ветвей. На кривых охлаждения расплава в верхней части V-образного кристаллизатора проявляются изотермы равновесного ликвидуса. Выделение теплоты фазового перехода снимает большую часть переохлаждения в расплаве и наиболее выгодным в энергетическом отношении становится направление роста вторичных ветвей перпендикулярное к первичным ветвям.

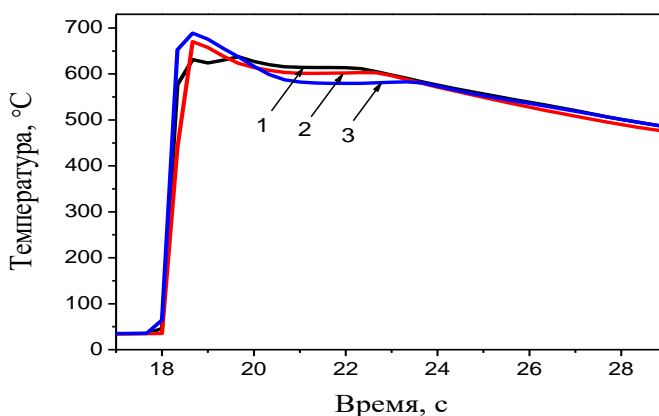


Рис.2. Температурные кривые, полученные на одной высоте кристаллизатора (в сечении 2, рис.1) при разных температурах заливки расплава:

1 – 760 °C; 2 – 865 °C; 3 – 905 °C

В процессе кристаллизации происходит перераспределение легирующих элементов между твердой и жидкой фазой. Возникающие при этом градиенты концентрации в расплаве приводят к возникновению диффузионных потоков на границе раздела твердой и жидкой фазы. Полнота протекания диффузионных процессов определяет химический состав и температуру фактического ликвидуса расплава вблизи поверхности раздела (рис.2).

УДК 621.74

И. В. Рафальский, Б. М. Немененок, К.А. Жук

Белорусский национальный технический университет, Минск,
республика Беларусь

ЖИДКО-ТВЕРДОФАЗНЫЕ ПРОЦЕССЫ ПОЛУЧЕНИЯ ЛИТЕЙНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ АЛЮМИНИЯ

Литейные композиционные материалы на основе алюминия с дисперсными неметаллическими, прежде всего, керамическими фазами, имеют большой, но в значительной мере нереализованный функциональный потенциал для удовлетворения растущих потребностей транспортного машиностроения, авиационной промыш-

ленности, строительной и электротехнической индустрии, других отраслей промышленного производства. До настоящего времени остается относительно высокозатратным производство изделий различного назначения из дисперсно-упрочненных композиционных сплавов на основе алюминия (АКС). Актуальность исследований в области разработки металлургических способов синтеза литейных композиционных материалов на основе алюминия с дисперсными неметаллическими фазами обусловлена необходимостью обеспечить требуемые технологические и экономические преимущества при производстве металлопродукции функционального и конструкционного назначения.

Существующие способы получения дисперсно-упрочненных АКС, несмотря на все их большое разнообразие и видимый прогресс в разработке новых методов их синтеза, пока не привели к снятию имеющихся ограничений на массовое производство изделий из этих материалов. Перспективным направлением в создании литейных АКС с дисперсными неметаллическими фазами является синтез композиций на основе алюминия с применением металлургических жидко-твердофазных (ЖТФ) технологий совмещения материалов.

Изучены закономерности синтеза литейных композиционных материалов функционального и конструкционного назначения на основе алюминия с дисперсными высокомодульными неметаллическими фазами систем $\text{Al}/\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ и Al/SiC , исследованы физико-химические процессы на границе раздела фаз в композициях, полученных при использовании ЖТФ технологий с применением различных режимов температурно-временной обработки (ТВО) композиций. Предложена концептуальная модель ресурсосберегающих металлургических ЖТФ способов синтеза сплавов на основе алюминия, содержащих дисперсные неметаллические материалы, в которых отличительной особенностью является применение двухступенчатой ТВО композиций, способствующих интенсификации процессов реакционного синтеза алюмооксидной и карбидной керамики материалов в алюминиевой матрице.

Первая, низкотемпературная ступень ТВО реализуется с целью обеспечить длительный физический контакт гетерофазных компонентов ЖТФ композиций непосредственно после смешивания компонентов. Вторая ступень ТВО реализуется путем нагрева и выдержки композиций при температурах, достаточных для проведения процессов реакционного синтеза алюмооксидной и карбидной керамики. Нагрев композиционной суспензии и проведение ТВО осуществляется на этой стадии при

температурах, существенно превышающих температуру ликвидус металлической основы композиции.

Установлено, что ТВО ЖТФ-композиций системы Al-Ti/SiC при нагреве до 800–900 °C приводит к тому, что титан локализуется по границам раздела частиц карбидной керамики, образуя контактный слой, содержащий продукты реакций титана с карбидом кремния. Образование на контактной поверхности реакционного слоя сопровождается эффектом самопроизвольного смачивания и усвоения расплавом карбидной керамики в композиционной суспензии Al-Ti/SiC. При проведении ТВО частицы карбидной керамики не отделяются от расплава, образуя однородную высоковязкую смесь.

Экспериментально подтверждена способность SiO_2 к химическому взаимодействию с алюминием во всем объеме дисперсных частиц кремнезема, что позволяет использовать дисперсные кварцевые материалы в качестве исходного сырья для управляемого реакционного синтеза алюмооксидной керамики в процессе ТВО композиционной суспензии Al/SiO₂. В результате реакции SiO_2 с алюминием в композиционной суспензии Al/SiO₂ при заданных технологических режимах ТВО, помимо оксида алюминия, происходит образование свободного кремния. Это позволяет рассматривать композиции Al/SiO₂ как в качестве металлургического сырья для производства функциональных дисперсно-упрочненных композиционных сплавов, так и для получения литейных сплавов системы Al-Si конструкционного назначения.

УДК 669

Г. А. Румянцева, П. Э. Ратников

Белорусский национальный технический университет, Минск

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ УГАРА ЛЕГИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ ВЫПЛАВКЕ ХРОМИСТЫХ ЧУГУНОВ В ИНДУКЦИОННЫХ ПЕЧАХ ПОВЫШЕННОЙ ЧАСТОТЫ

Проблеме угара легирующих элементов при плавке стали и чугуна в индукционных тигельных печах повышенной частоты (ИТППЧ) в технической литературе уделяется недостаточно внимания. В то же время, принимая во внимание, что в литейном производстве машиностроительных предприятий большая часть сплавов

производится именно в ИТППЧ, суммарные потери легирующих элементов могут достигать весьма значительных объемов. По данным [1] в печах с основной футеровкой угар элементов составляет: вольфрама – до 2 %, хрома, марганца и ванадия – от 5 до 15 %, кремния – от 10 до 20 %, титана 25–35 %; в печах с кислой футеровкой: угар марганца составляет от 10 до 20 %, угар молибдена ~ 2 %, хрома – до 5 %. И хотя при выплавке металла в печи с кислой футеровкой интенсивность протекания окислительных процессов низка, при наличии в шихте оксидов, например, железа, последние могут восстанавливаться, что приведет к потерям легирующих элементов, имеющих более высокое сродство к кислороду. При производстве сложнолегированных сплавов необходимо отдельно рассматривать вопросы взаимной химической активности легирующих элементов, их взаимодействия со шлаком и футеровкой печи и т. д. с целью разработки оптимальной технологии дозировки и последовательности подачи ферросплавов при плавке в индукционных печах, а также нормирования угаров легирующих компонентов.

С целью набора экспериментальных статистических данных для определения величин угаров легирующих элементов при выплавке многокомпонентных высоколегированных железоуглеродистых сплавов была проведена серия опытных плавов чугуна ЖЧХ30 в индукционных печах повышенной частоты с кислой футеровкой. В качестве шихтовых материалов применялись сталь 3 (ГОСТ 4757-91), сталь 08пс (ГОСТ 4757-91), ферромарганец ФМн78 (ГОСТ 4757-91), ферросилиций Фс90 (ГОСТ 1415-93), феррохром ФХ800А (ГОСТ 4757-91). Перед началом плавов шихтовые материалы проходили входной контроль с целью определения истинного химического состава. Шихтовка подбиралась с целью получения указанного сплава по верхним, нижним и средним пределам содержания легирующих элементов с целью определения влияния их концентраций на угар.

Технология плавки выбрана следующая. Вначале в тигель печи загружали феррохром и ферросилиций с добавлением стального лома, затем по мере расплавления шихты производили довалку стальным ломом. После полного расплавления шихты температуру расплава доводили до 1480–1490 °С и за 3–5 мин до окончания плавки подавали ферромарганец. Разливку производили в подогретый газовой горелкой до температуры 800 °С ковш, в который предварительно подавали алюминий и модификатор. Расплав разливали в песчаные формы. Для определения металлургического пригара ковш взвешивался до и после разливки чугуна, также были взвешены шлак и всплески. Образец на химический анализ брали из прибыль-

ной части отливки. Угары определялись путем сравнения результатов химического анализа с расчетными значениями содержания легирующих элементов в шихте.

Анализ плавов показал:

- угар хрома и углерода практически не зависит от их концентраций в шихте и находятся соответственно в пределах 4,6–5,9 % и 10–12 %;
- угар марганца и кремния по абсолютному значению практически неизменен, а в процентном соотношении зависит от концентраций этих элементов в шихте (для марганца – от 8 до 20 %, для кремния 13–24 %);
- угар железа незначителен и находится в пределах от 1,7 до 3,4 % (в среднем около 2,5 %). Основным определяющим фактором угара железа является фракционный состав металлошихты;
- угары вредных примесей – серы и фосфора – находятся в среднем в пределах 40–45 %.

Список литературы

1. Поволоцкий Д. Я. Электрометаллургия стали и ферросплавов / М.: Металлургия, 1974. – 551 с.

УДК 669.295-131.4

О.О. Савінок, В.І. Гонтаренко, О.С. Сергієнко

Запорізький національний технічний університет, Запоріжжя

ТЕХНОЛОГІЇ 3D ДРУКУ У ЛИВАРНОМУ ВИРОБНИЦТВІ

3D друк – процес виготовлення фізичного об'єкту, шляхом пошарового нанесення матеріалу(звідси походить узагальнена назва Additive Manufacturing – від слова additive – добавка, доповнення). Перші прилади з'явилися у «80-тих роках у Японії, Хідео Кодама винайшов систему швидкого прототипування [1], у якій застосовувалися фотополімери. Згодом, у 1984р. Чарльз Хал (засновник компанії 3D Systems Corporation – і до сьогодні один з лідерів галузі) винайшов стереолітографію»[1], і поступово, крок за кроком, інноваційна технологія, шляхом удосконалення та застосу-

вання нових засобів друку та застосовуючи нові матеріали переростала, від новітнього засобу прототипування у повноцінну виробничу технологію.

На сьогодні адитивні технології є універсальними засобами виробництва, які охопили широкий спектр застосувань, такі як: мистецтво, медицина, архітектура, будівництво, ювелірна справа, промислове застосування і навіть при друку їжі. Також технології, фактично можуть застосовуватися на будь-якій стадії створення виробів (проектування або прототипування, дизайн, випробування та безпосередньо виробництво).

Конкретно у ливарному виробництві весь спектр можливостей адитивних технологій, потенційно, здатний спричинити значні зміни, як у технологічних процесах так і у технологіях в цілому. Так як, дані технології здатні: по-перше – на стадії проектування виробу, або технологічного процесу для існуючого виробу, визначити «слабкі місця» до початку виробництва (шляхом моделювання з використанням подібних матеріалів); по-друге – вносити значні корективи в існуючі технології, шляхом створення (безпосереднього друку, або друку допоміжних засобів) елементів технологічного процесу, таких як моделі, форми; по-третє – 3D друк являється технологією здатною створювати вироби з металу, проте данні технології доволі коштовні на даний момент, і застосовуються, як правило для спеціальних виробів (наприклад з титану).

Як приклад застосування у ливарному виробництві можна навессти технологію яка застосовується у технологічних процесах лиття за моделями що витоплюються, моделями що випалюються. Основна відмінність цих технологій полягає у матеріалі який застосовується для створення моделей, для витоплюваних моделей – маси на восковій основі, для моделей що випалюються – пластик.

Застосування тривимірних технологій дозволяє оптимізувати процес, шляхом друку моделей. У випадку технології за витоплюваними моделями, моделі виготовляються за технологією багатоструменевого друку (MultiJet Printing, MJP). Матеріал – віск або фотополімер. Якщо порівнювати віск і фотополімер, то останній виграє в плані якості надрукованої моделі, міцності і вартості, однак за якістю кінцевого відлитого виробу перевага, безумовно, на стороні воску [2].

Для технології лиття за моделями що випалюються зміни більш суттєві. Основними недоліками пластика являються: зольність, висока тривалість випалювання, створення внутрішнього тиску на форму (під час випалювання за рахунок термічного розширення моделі). «Щоб уникнути термічних напружень при гартуванні, і була розроблена технологія QuickCast. Зовнішні стіни моделі друкуються цілком (приблизно 1

мм завтовшки, в залежності від габаритів), а порожнина, яка утворюється усередині, заповнюється стільниковою структурою, яка генерується програмним забезпеченням в автоматичному режимі ще до друку. При нагріванні модель і оболонка тиснуть один на одного, і за рахунок тонкостінної структури модель починає складатися всередину, запобігаючи руйнуванню форми [3].

Перевагами застосування даних технологій є: висока точність друку; економія часу та коштів, за рахунок мінімізації обробки, зменшення об'єму моделей та відсутності оснащення. Подібні технології за рахунок високої точності друкованих моделей, можуть бути використані у технологічних процесах відповідальних виробів.

Головним недоліком подібних інновацій, є необхідність великих, початкових вкладень, про інші недоліки говорити складно, так як дані технології не набули широкого поширення, на даний момент.

Список літератури

- 1 [Електронний ресурс] / Режим доступу: www / URL: [http: // www.3dpulse.ru/news/interesnoe-o-3d/kratkaya-istoriya-3d-pechati/](http://www.3dpulse.ru/news/interesnoe-o-3d/kratkaya-istoriya-3d-pechati/)
- 2 [Електронний ресурс] / Режим доступу: www / URL: [http: // blog.iqb-tech.ru/3d-printing-wax](http://blog.iqb-tech.ru/3d-printing-wax)
- 3 [Електронний ресурс] / Режим доступу: www / URL: [http: // blog.iqb-tech.ru/additive-technologies-cavityless-casting](http://blog.iqb-tech.ru/additive-technologies-cavityless-casting).

УДК 621.742

Ю.А. Свинороев

Каменский институт (филиал), Южно-российский государственный политехнический университет им. М.И. Платова, г. Каменск – Шахтинский

РАЗУПРОЧНИТЕЛИ КОМПЛЕКСНОГО ДЕЙСТВИЯ ДЛЯ ЖИДКОСТЕКЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ

Цель работы состояла в поиске эффективных разупрочняющих добавок для жидкостекельных связующих материалов, позволяющих эффективно и комплексно

решать вопросы выбиваемости литейных форм и стержней, изготовленных из смесей на их основе.

Анализ научных работ посвященных проблеме совершенствования жидкостеклянных технологий и практика их применения показывают, что усилия по их совершенствованию направлены на решение задач облегченной выбиваемости этих смесей. Причиной такого состояния является расплавление силикатов натрия при заполнении литейной формы металлом с последующим спеканием жидкостеклянной смеси в процессе охлаждения, с образованием прочной, трудноудаляемой стекловидной массы.

Предложено, применить в качестве агентов - модификаторов разупрочнения, комбинацию материалов включающую, блок работающий на разупрочнение в диапазоне относительно низких температур (200-300⁰С), и блок компонентов работающий в диапазоне высоких температур (700-800⁰С).

Идея исследования основана на совмещении процессов деструкции компонентов модификатора с процессами, формирующими максимум прочности жидкого стекла в процессе его полиморфизма при прогреве смеси.

В качестве исходных компонентов, для низкотемпературного разупрочнения, предложено взять лигнинсодержащий материал, крупнотоннажный отход при переработке растительного сырья гидролизным способом. Для высокотемпературного разупрочнения – минеральные добавки: глину и вермикулит.

Предполагается, что максимуму в области 300⁰С, соответствует термодеструкция гидролизного лигнина, которая таким образом осуществляет функцию разупрочнения в этом температурном интервале; максимуму в области 800⁰С, соответствует метаморфизм неорганических компонентов модификатора - глины (бентонитовой, каолиновой) и вермикулита, обеспечивающих аналогичное действие в высокотемпературной области.

Проведённая серия адаптивных экспериментов показала, что соотношение жидкого стекла и разупрочняющих добавок в составе исследуемой связующей композиции должна составлять одну треть от объема жидкого стекла. Данная зависимость определена эмпирическим путем, и принята в качестве исходной базы для отработки состава искомой связующей композиции на модельных составах смесей.

Предложено разработать модифицирующую добавку, которая смогла бы в комплексе решить указанную проблему: имела приемлемый минимум остаточной

прочности, как в низкотемпературной (200-300⁰С), так и в высокотемпературной области (700-800⁰С).

Для этих целей были выбраны материалы, действие которых на жидкостекольную основу связующей композиции по отдельности решает задачи разупрочнения в низкотемпературном интервале, и в высокотемпературном интервале.

Результирующий эффект представлен на рисунке 1.

Основой состава, для обеспечения работы в низкотемпературной области, является лигнинсодержащий материал – компонент органического происхождения, обладающий высокой гигроскопичностью и способностью адсорбировать и удерживать влагу, которая в процессе нагрева образует газы (пар с продуктами термодеструкции), являющиеся агентом разупрочнения жидкосмекольной матрицы. При повышении прогрева смеси до более высоких температур, идет выгорание гидролизного лигнина, его действие, таким образом, прекращается, а в жидкостекольных пленках, на поверхности наполнителя формируется легкоплавкая эвтектика, что приводит к увеличению прочности композиции.

Для решения этой задачи вводятся неорганические добавки: глина или вермикулит. Их введение позволяет достичь желаемого эффекта в высокотемпературной области (700-800⁰С).

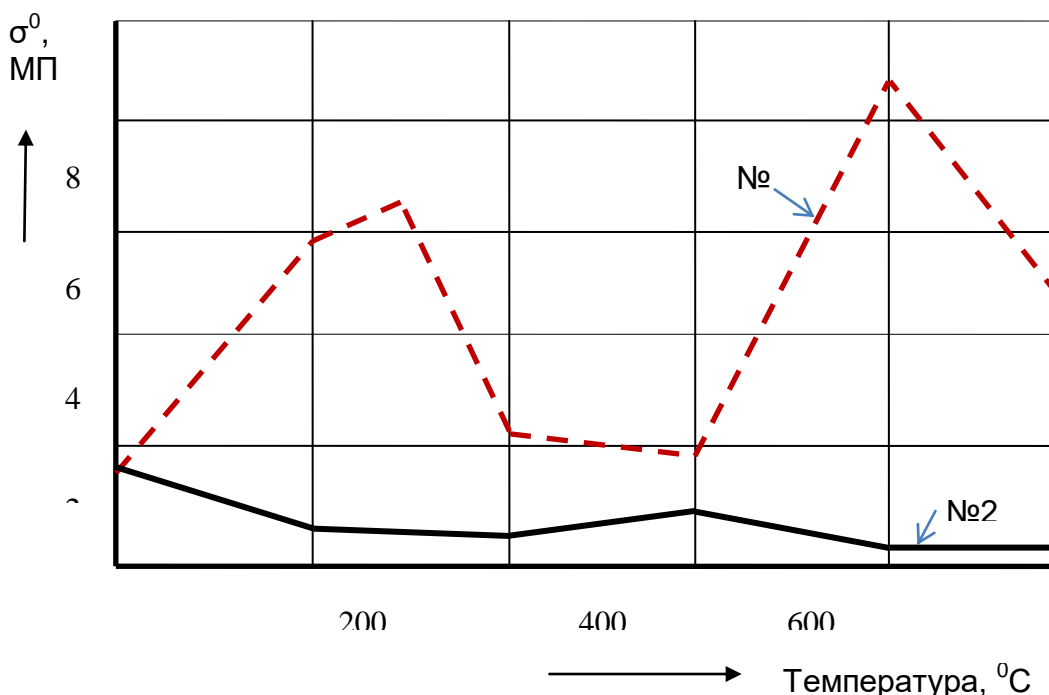


Рис. 1. Показатели остаточной прочности жидкостекольных смесей различных составов: №1 - модельный состав смеси на жидком стекле без разупрочнителей; №2 – состав смеси с разупроч-

Вывод: в результате проведения исследований разработан эффективный, комплексный модификатор для формовочных и стержневых смесей на основе жидкого стекла, обеспечивающий их разупрочнение до приемлемого уровня в широком диапазоне температур.

УДК 621.746.5

А.Ю. Семенко

Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, м. Київ

Тел/факс: 0444242050, e-mail: www.sem.a.u@gmail.com

ВИЗНАЧЕННЯ ПОТУЖНОСТІ ТЕПЛОВИХ ВТРАТ У МАГНІТОДИНАМІЧНІЙ УСТАНОВЦІ ДЛЯ АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ

З метою розробки раціонального експериментального методу визначення потужності теплових втрат у магнітодинамічній установці (МДУ), були проведені експериментальні дослідження на рідкому металі.

Для цього було розроблено методику оцінки теплової роботи МДУ для алюмінієвих сплавів. Ідея методу полягає в тому, щоб використовувати наявну в схемі управління установки МДН-6А двопозиційну систему регулювання температури за її середнім значенням.

На рис. 1 схематично показаний процес зміни температури між нижньою і верхньою межами заданого температурного інтервалу.

Оскільки різниця ($t_{\max} - t_{\min}$) не перевищує 15-20 °С, то було прийнято, що зміна температури між нижньою і верхньою межами не впливає на середню потужність тепловтрат.

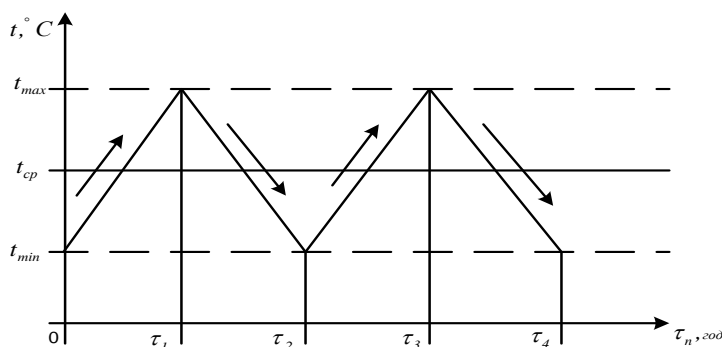


Рис. 1 – Схема зміни у часі температури при двопозиційному регулюванні:

t_{\max} та t_{\min} – відповідно верхня і нижня межі регулювання температури розплаву;
 $t_{\text{ср}}$ – середня температура розплаву (оптимальна температура заливки);
 $\tau_1 \dots \tau_n$ – інтервали часу зростання та зменшення температури розплаву.

Для розрахунку потужності теплових втрат визначено Q_1, Q_2, \dots, Q_n – кількість теплової енергії, переданої в рідкометалевий обсяг за відповідний інтервал часу: $Q_1 = P_1 \cdot (\tau_1)$, $Q_2 = P_2 \cdot (\tau_2 - \tau_1)$, ..., $Q_n = P_n \cdot (\tau_n - \tau_{n-1})$, а потім розраховано середню потужність установки за n циклів за формулою:

$$P_{\text{ср}} = \frac{\sum_{n=1}^n Q_n}{\tau_n}, \text{ кВт} \quad (1)$$

де τ_n – час від нуля до кінця останнього циклу, годин; Q_n - кількість теплової енергії, кВт год.

Було відпрацьовано експериментальний метод визначення теплових втрат, що не був застосований для МДУ раніше. Для підвищення точності досліджень, було визначено інерційність застосованої термопари.

В результаті виконання експерименту було визначено: швидкість зміни температури розплаву від зміни режимів роботи індукторів; параметри нагріву розплаву при його регулюванні одним індуктором, двома індукторами та при їх почерговому включенні; визначено (на першому етапі) теплові втрат МДУ в режимі «зберігання» з закритою кришкою при постійному рівні розплаву у тиглі.

Отримані дані цих досліджень напряму пов'язані з головними задачами розробки системи автоматизованого управління МДУ.

УДК 621.74:669.3

К.Г. Семенов¹, К.А. Батышев¹, Свинооров Ю.А.²¹Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана,
г. Москва²Каменский институт (филиал), Южно-российский государственный политехнический
университет им. М.И. Платова, г. Каменск – Шахтинский

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СПЛАВЫ НА МЕДНОЙ ОСНОВЕ

Производство и потребление изделий из меди и низколегированных медных сплавов в мире постоянно растет, появляются все новые области применения металлопродукции. Последние исследования Европейского института меди и Международной ассоциации меди выделяют следующие перспективные области использования медных изделий, как существующих и развивающихся: передача электроэнергии, передача сигналов и данных, автомобильная электропроводка, системы на электрической тяге, соединение электронных приборов, устройства теплоотвода для электронных приборов, радиаторы и теплообменники бытовых приборов и т.п.

Низколегированные сплавы меди, которые используются в современной технике, подразделяются на две группы [1-3]. К первой группе относятся дисперсионно-твердеющие, то есть те, у которых повышение прочностных свойств приобретает в результате термомеханической обработки. Другая группа сплавов, у которых прочностные свойства определяются прочностью межатомных связей между основой сплава медью и легирующими элементами. У этих сплавов более высокие технологические и литейные свойства, но более низкие значения электро-и теплопроводности.

Низколегированные сплавы меди, как правило, относятся к классу деформируемых сплавов. Для современных машиностроительных технологий перспективным следует считать сплавы на основе системы медь – железо с легирующими добавками, обеспечивающими возможность получения достаточно высокой теплопроводности, в сочетании с высокими прочностными свойствами.

Группа сплавов медь - железо характеризуется как материалы с высокими показателями по электропроводности, а железистые бронзы (дисперсионно-твердеющие сплавы), как заменители хромовых бронз с высокорентабельными показателями выпускаемой продукции, так как стоимость железа и серы значительно

ниже стоимости других традиционных легирующих в низколегированных сплавах меди.

В стандарты США включены 4 сплава (C19600-C19200) с содержанием железа от 0,8 до 2,6% и выпускается различная продукция в виде листов, полос, лент, прутков для различных отраслей энергомашиностроения. Железистые бронзы в зависимости от термообработки (М, П, Т) обеспечивают значения σ_b от 275 до 550 МПа и $\delta_5 = 18\%$ (М).

Сплавы системы Cu-Fe с различными добавками (например, P, Sn, Zn) считаются [2, 3] очень перспективными для получения фасонных отливок и заготовок из низколегированных сплавов меди.

Согласно диаграмме состояния Cu-Fe с повышающимся ликвидусом представлена. Железо практически не растворяется в меди и не оказывает существенного влияния на ее теплопроводность.

В соответствии с диаграммой состояния Cu-Fe, железо образует с медью твердый раствор с переменной растворимостью железа в меди при температурах 1025, 900, 800 и 700 °С соответственно в количестве 2,5; 1,5; 0,9 и 0,5 % (мас.) Fe. Растворение железа в медном расплаве происходит с повышением температуры ликвидус с 1083 до 1098 °С.

Опытные плавки сплавов медь-железо, проведенные на основе металлов промышленной чистоты, показали, что растворение железа в меди происходит медленно. В случае выплавки сплавов, не содержащих в составе фосфор, рекомендуется перед введением железа в расплав проводить технологический процесс диффузионного раскисления.

Литейные свойства меди с присадками железа до 1,0 % определяли, используя стандартные методики. Следует отметить благоприятное влияние железа на показатели жидкотекучести, то есть свойства в значительной мере определяющей технологические возможности сплавов при получении фасонных отливок. Железо в интервале концентраций от 0,1 до 1,0 % практически не изменяет объемную усадку меди, которая составляет 5,1 %, мало влияет на пористость отливок и проявляется в виде сосредоточенной усадочной раковины. Горячеломкость меди, содержащей железо, резко повышается при возрастании его содержания до 1,0 %. Получены достаточно благоприятные характеристики совокупных значений литейных свойств меди, содержащей железа до 1,0 % для получения фасонных.

Разработаны и выплавлены несколько низколегированных сплавов на основе системы медь-железо, которые могут быть рекомендованы для получения фасонного литья. Эти сплавы, формируют большой рынок применения двигательных систем на электрической тяге, неотъемлемой частью которых являются износостойкие медные компоненты. Дополнительные области применения включают использование медных деталей в силовой электронике в цепях с большой силой тока и в системах терморегуляции, а также в системах зарядки аккумуляторных батарей электромобилей. Продолжаются работы по разработке новых сплавов на основе системы медь – железо для получения отливок и заготовок специальными способами литья: литьем по выплавляемым моделям, литьем с кристаллизацией под давлением, а также с использованием новых смесей со связующими материалами на основе технических лингосульфонов.

Литература

1. Берент В.Я. Материалы и свойства электрических контактов в устройствах железнодорожного транспорта. – М.: Интекст, 2005, с.408
2. Семенов К.Г., Панкратов С.Н., Колосков С.В. Разработка современных низколегированных медных сплавов для машиностроения // Металлургия машиностроения. 2015, № 4, с.19-21
3. Семенов К.Г., Батышев К.А., Панкратов С.Н., Колосков С.В. Низколегированные сплавы меди для новых технологий / Металлургия машиностроения. 2015. № 5. С. 22-24

УДК 621.74

О. С. Сергієнко, Є. В Петров, О. С. Войновська

Запорізький національний технічний університет, Запоріжжя

ПЕРЕВІРКА ЕМПІРИЧНИХ РОЗРАХУНКІВ ЛИВНИКОВОЇ СИСТЕМИ ЗА ДОПОМОГОЮ КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Україна одна з провідних країн Європи за кількістю металургійних підприємств, основну продукцію яких становлять: переробний чавун, металопрокат, сталеві злит-

ки. У січні-вересні 2017 р. виплавка чавуну скоротилася на 42%; виплавка сталі на 40% в порівнянні з 2014 р. [1].

Зважаючи на ці негативні тенденції, в Україні існує необхідність впровадження нового обладнання, автоматизації та комп'ютеризації виробництва, а також навчання персоналу роботі з сучасними програмами аналізу, архівації та обробки інформації з метою підвищення конкурентоспроможності продукції ливарного виробництва та металургійного сектора взагалі, на світовому ринку.

Конструювання і розрахунок ливникових систем виливків є одним з найважливіших етапів ливарної технології, що скорочує втрати і виробничий брак сталевого литва, також зменшує собівартість продукції. Розрахунки проводять за допомогою номограм, діаграм і таблиць, або аналітично. В розробці сучасних технологічних процесів лиття доцільно використовувати CAE програмні комплекси, що працюють спільно з CAD системами.

Застосування сучасних CAD і CAE систем прискорює розробку технології виробництва фасонного литва та забезпечує загальне поліпшення якості продукції, а також мінімізацію виробничих витрат.

Метою роботи стала перевірка точності емпіричного розрахунку ливникової системи за допомоги комп'ютерного моделювання заливки металу.

Для реалізації мети було розраховано ливникову систему для виливка зі сталі Гадфільда; розроблено і побудовано 3D модель моделі даного виливка у програмі КОМПАС 3D-V16.; спроектовано ливарну форму і проведено моделювання заливки розплавленим металом з використанням демо-версії програми Nova-flow, для перевірки точності розрахунку.

Розрахунок ливникової системи виливка виконано методом оптимального часу заливки.

Розрахунок звичайного сферичного надливку проводили методом ізотермізосолідусів. Отримано результати: півсферичний надливочок з діаметром 190 мм, висотою 190 мм, масою 31,43 кг, при цьому теоретичний вихід придатного литва (ТВП) складає 59% [2].

Комп'ютерне математичне моделювання дозволило проаналізувати характер затвердіння литої деталі і місць можливої появи усадкових дефектів. Встановлено, що використана модель ливникової системи ефективно виводить усадкову раковину у об'єм надливка.

Для підвищення ТВП запропоновано використання надливка прямої дії з кінчними екзотермічними вставками серії Permatex Sl...PK. Розрахунок проведено методом компанії «Foseco». Основні параметри надливка обрано за каталогом компанії. Маса надливку складає 15,9 кг і здатна жити, за розрахунком, вилівок масою 53,1 кг, ТВП складає 74%.

Завдяки моделюванню визначено, що екзотермічний надливков меншого об'єму ефективно виведе усадкову раковину, а тіло вилівка заповнене «здоровим» металом.

Отже, комп'ютерне моделювання процесу кристалізації надає можливість запобігти виготовленню бракованої продукції та виробничим втратам, визначити можливі місця утворення усадкових дефектів.

Список літератури

1. Выплавка стали в Украине достигла в сентябре 8-месячного максимума [Электронный ресурс] / Новости, Metallurgia, – Электронные данные. – Киев, - Режим доступа: <http://uaprom.info> (дата обращения 02.10.2017г.). – Название с экрана.
2. Кузовов О.Ф. Технологічні розрахунки: Методичні вказівки до практичних занять і курсового проектування з дисциплін «Теоретичні основи формоутворення» і «Технологія ливарного виробництва» / Укл: О.Ф. Кузовов. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2003. – 65 с.

УДК 669.017.12/15:621.745.56:537.84

Е. В. Середенко

Физико-технологический институт металлов и сплавов

НАН Украины, г. Киев

КОМПЛЕКСНОЕ ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ ОХЛАЖДЕНИЯ И ПОСТОЯННОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА РАЗМЕР ЗЕРНА ЛИТОГО СПЛАВА ТИПА ВАЛ 10

Размеры зёрен металлических сплавов и их однородность в объёме литой заготовки определяют свойства изделия. Основным инструментом управления зёреной структурой сплавов является скорость охлаждения. В технологических процес-

сах, когда возможности варьирования скоростей охлаждения отливок ограничены, а так же условия их затвердевания различны и приводят к неоднородности размеров зёрен в разных частях заготовки, для устранения недостатков литой структуры, применяются внешние воздействия на охлаждающийся и затвердевающий расплав. В настоящее время ведутся исследования по влиянию постоянного магнитного поля на структуру металлических сплавов, в том числе на основе алюминия. Данное влияние является сложным, и это сдерживает применение магнитного поля в литейных технологиях.

Целью работы было установление совместного влияния скорости охлаждения и постоянного магнитного поля на размер зерна сплава на основе системы Al-Cu. Расплав готовился в печи сопротивления. Термовременная обработка проводилась при температуре 820 °С в течение 10 мин. Готовый расплав заливался в формы, где отливки охлаждались со скоростями 10, 25 и 50 °С/с. Контрольный металл затвердевал без воздействия поля. Для влияния на сплав использовалось постоянное магнитное поле с индукцией (В) 0,10, 0,15 и 0,20 Тл. Результаты исследований представлены на рисунке.

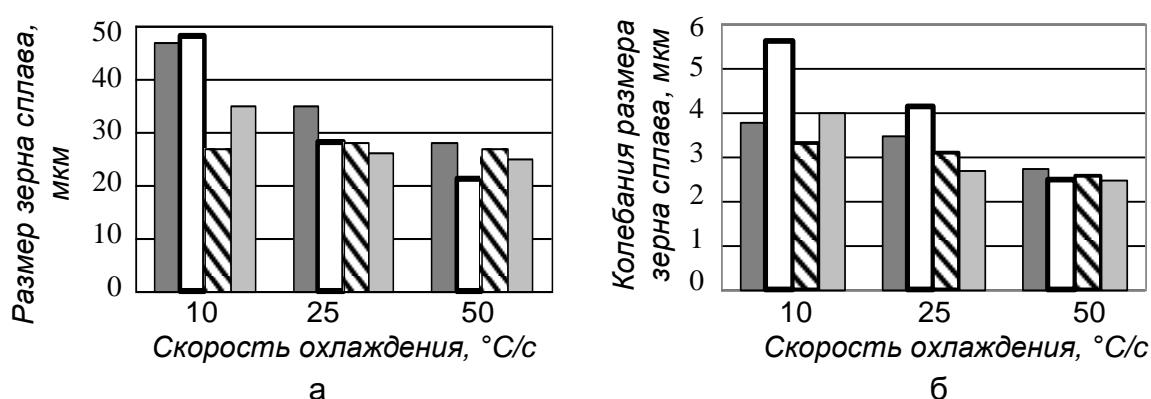


Рис. – Влияние скорости охлаждения и индукции постоянного магнитного поля на размер зерна сплава (а) и колебаний величины среднего размера зерна сплава (б) -

- 0 Тл, - 0,10 Тл, - 0,15 Тл, - 0,20 Тл

Определено, что с ростом скорости охлаждения от 10 до 50 °С/с уменьшается как размер зерна в сплаве (в 1,7 раза), так и колебания этой величины (в 1,4 раза), что приводит к формированию более тонкой и однородной структуры. Наложение магнитного поля эффективнее усиливает действие скорости охлаждения на параметры литой структуры с повышением её значения от 10 до 50 °С/с при наименьшем значении индукции В = 0,10 Тл (размер зерна и колебания этой величины умень-

шаются соответственно в 2,2 и 1,5 раза). При скорости охлаждения 10 °C/c постоянное магнитное поле с индукцией 0,15 и 0,20 способствует измельчению зерна в сплаве соответственно в 1,7 и 1,3 раза.

Для скорости охлаждения 25 °C/c действие магнитного поля вызывает измельчение зерна в 1,3 - 1,4 раза при всех значениях индукций. Наиболее однородная структура формируется в случае наложения поля с индукцией 0,20 Тл – колебания размера зерна сокращаются в 1,3 раза по сравнению с контрольным металлом. Применение магнитного поля с указанной индукцией при скорости охлаждения сплава 50 °C/c по сравнению с контрольным металлом в 1,3 раза уменьшает размер зерна и в 1,1 раза колебания этой величины.

Таким образом, для формирования однородной структуры сплава в объеме отливки в условиях её существенно неравномерного охлаждения (в диапазоне от 10 до 50 °C/c) с различием в размерах зёрен ~ 3% наиболее эффективно применение магнитного поля с индукцией 0,15 Тл, а для случая различия в скоростях охлаждения отдельных частей объема отливки порядка от 25 до 50 °C/c – 0,20 Тл. При получении массивной заготовки, когда невозможно достижение однородности поля, воздействующего на расплав равномерность зёрненной структуры обеспечивается в условиях значения индукции поля 0,20 Тл у поверхности отливки (скорость охлаждения 50 °C/c) и 0,15 Тл в её центральном объеме (при скорости охлаждения 25 °C/c). Формирование градиентной структуры отливки (с различием в размерах зёрен 50 %) наиболее эффективно в условиях действия магнитного поля с индукцией 0,10 Тл и скоростях охлаждения объемов у поверхности и центре отливки соответственно 50 и 25 °C/c.

УДК 669.715:621.785

O. L. Skuibida

Zaporizhzhya National Technical University, Zaporizhzhya

ENERGY SAVING TECHNOLOGY OF HEAT TREATMENT OF RECYCLED ALUMINUM ALLOYS

Aluminum alloys are one of the most widespread structural materials. The European Union produces about 5.1 million tons of primary aluminum and

5.2 million tons of recycled aluminum per year. The U.S.A., Japan, Germany, France, Britain and Italy are the leaders of recycling in the aluminum alloys production. World production of aluminum from scrap and waste is about 10 million tons per year. At the same time the problem of relatively poor quality of recycled casting aluminum alloys still exists.

Different ways to improve quality of secondary aluminum alloys are used in industry (vacuuming, ultrasonic processing, use of electric current etc.). These methods are carried out on the basis of high-energy processes, using devices and installations with a large energy consumption. The most promising way of reducing the energy intensity of aluminum alloy production is to remove part of technological operations from working space of furnace by use of refining and modification.

Heat treatment is a required stage of aluminum alloys production. Both for primary and secondary alloys identical heat treatment modes are used. On the one hand the use of prolonged periods is economically inappropriate because of significant increase of quantities of energy and production costs. On the other hand, it is necessary to take into account the characteristic features of structure of recycled alloys (increased quantity and size of impurities and intermetallides) and structural transformations during heat treatment. Thus variation of heat treatment modes can be considered as a significant energy saving reserve of recycled aluminum alloys production.

The research was carried out in accordance with the rotatable plan of multifactorial experiment of the second order 2^3 . As the independent variables we had took the iron content in the recycled alloy AK8M3, the cooling time under hardening τ_h and the aging time τ_{ag} . According to measurements of hardness, strength and plasticity after different modes of heat treatment, the regression equations of mechanical properties of secondary alloy AK8M3, depending on the iron content were obtained:

$$HV_{(Al)} = 1015,9 + 58,479Fe + 77,4337\tau_h - 71,638\tau_{ag} + 8,375Fe \cdot \tau_h + 3,125Fe \cdot \tau_{ag} + 12,625\tau_h \cdot \tau_{ag} - 18,979Fe^2 - 6,779\tau_h^2 + 5,422\tau_{ag}^2; \quad (1)$$

$$HB = 140,477 - 3,811Fe + 3,997\tau_h + 3,997\tau_{ag} + 0,813Fe \cdot \tau_h + 2,313Fe \cdot \tau_{ag} + 0,188\tau_h \cdot \tau_{ag} - 13,915Fe^2 - 3,66\tau_h^2 - 5,428\tau_{ag}^2; \quad (2)$$

$$\sigma = 271,154 - 2,427Fe + 18,652\tau_h + 10,305\tau_{ag} + 2,201Fe \cdot \tau_h + 6,624Fe \cdot \tau_{ag} + 1,949\tau_h \cdot \tau_{ag} - 16,437Fe^2 - 18,294\tau_h^2 - 9,559\tau_{ag}^2; \quad (3)$$

$$\delta = 1,562 - 0,169\text{Fe} + 0,035\tau_h - 0,09\tau_{ag} + 0,014\text{Fe} \cdot \tau_h + 0,016\text{Fe} \cdot \tau_{ag} + 0,004\tau_h \cdot \tau_{ag} - 0,064\text{Fe}^2 - 0,069\tau_h^2 - 0,053\tau_{ag}^2; \quad (4)$$

$$KC = 0,32 - 0,05\text{Fe} + 0,016\tau_h - 0,026\tau_{ag} + 0,002\text{Fe}^2 - 0,005\tau_h^2 - 0,009\tau_{ag}^2. \quad (5)$$

According to obtained dependences, for aluminum alloys containing up to 0.5 wt. % Fe it is expedient to use the standard parameters of hardening, whereas at higher iron concentrations it is necessary to increase the dwell time up to 8 hours for Fe concentration equal to 1.2 wt.%. For alloys with the content of iron 0.5 wt.% it is advisable to use dwell time for aging about 7 hours. For each 0.1 wt.% Fe at its concentration in the alloy more than 0.5% by weight additional 0.5 h of aging time should be provided.

Heat treatment technologies that take into account the concentration of impurities are a perspective trend in production of recycled aluminum alloys and energy consumption. The results of implementation of energy-efficient heat treatment mode according to concentration of iron in aluminum alloys showed prominent results. Ukrainian industrial giant – the joint-stock company “Motor Sich” has indicated high resource- and energy efficiency, increasing of quantities of use of secondary raw materials, reducing of costs of castings up to 60% compared with ordinary production technologies. Reduction of processing time of aluminum alloys with preservation of the high quality of products leads to decrease the energy intensity of the output, which coincides with the requirements of the energy strategy of Ukraine and other countries all over the world.

УДК 621.74.046

В. А. Слюсарев, П. Б. Калюжный

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

ОСОБЕННОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ АРМИРОВАННЫХ ОТЛИВОК ПО ГАЗИФИЦИРУЕМЫМ МОДЕЛЯМ

Стремительное развитие науки и техники способствует появлению новых высокопроизводительных механизмов и машин, которые часто требуют деталей с дифференцированными свойствами. В последнее время для улучшения служебных

свойств литых сплавов все чаще используется метод, суть которого заключается в упрочнении (армировании) литой заготовки элементами (арматурой), которые могут иметь форму отдельных дисперсных включений или макрочастиц. Новым и перспективным направлением изготовления армированных отливок является метод литья по газифицируемым моделям (ЛГМ), который подразумевает получение пенополистироловых моделей с имплантатами, то есть легирующими и модифицирующими добавками, которые специально вводятся в модель из полистирола. Данный метод позволяет управлять структурой и свойствами отливок, получать отливки с дифференцированными по сечению свойствами.

В работе [1] на основе обзора методов изготовления металлических композитных отливок показано, что ЛГМ имеет преимущества для изготовления композитных отливок из чугуна с армирующими элементами, главными из которых являются:

1) Наличие разовой пенополистироловой модели позволяет упростить процесс размещения армирующих элементов в объеме отливки или в ее определенной части;

2) Высокая точность способа ЛГМ позволяет получать литые заготовки, которые в дальнейшем могут применяться без механической обработки, что важно для деталей с износостойкой поверхностью, которая тяжело поддается обработке;

3) Пространственная неограниченность геометрии отливки, которую получают в форме из сухого песка, не имеющей разъема формы и стержней, дает возможность изготавливать сложные фасонные конструкции с дифференциацией свойств в различных их частях.

В тоже время при проектировании технологии изготовления армированных отливок по ЛГМ следует учитывать некоторые особенности. Армирующие вставки, заливаемые внутрь тела отливки для придания ей механической прочности, не должны иметь острых впадин и надрезов [2]. При армировании чугуна чаще всего применяется стальная арматура в виде трубок, прутьев, сетки. Армирующие вставки должны иметь защитное покрытие, которое в случае изготовления пенополистироловых моделей со стальной проволокой предотвращает ржавление стали при спекании моделей и охлаждении в воде.

Расстояние от арматуры к наружной поверхности отливки должно быть не менее $\frac{3}{4}$ диаметра арматуры во избежание появления трещин, а толщина стальной арматуры, заливаемой в чугунную отливку, должна быть в 3 раза тоньше толщины

стенки детали [2]. Необходимо соблюдение определенного соотношения между массами (объемами) арматуры и отливки. Так в работе [3] указано, что для проволоки диаметром 1 – 4 мм объемное содержание арматуры в отливке должно быть в пределах 15 – 30%, при этом диаметр арматуры должен быть выбран так, чтобы она не растворилась в чугуна и образовалась контактная зона.

Конструкция пресс-форм для изготовления пенополистироловых моделей должна предусматривать использование армирующих элементов, т.е. должна иметь выступающие части или канавки для фиксации арматуры. Армирующие вставки должны быть не только просты в изготовлении, но и не усложнять процесс сборки пресс-форм и получения моделей.

Технология макроармирования по ЛГМ-процессу имеет много параметров, определяющих качество получаемой отливки, поэтому дальнейшая работа будет направлена на установление закономерностей влияния этих параметров на механические и служебные свойства армированной детали.

Список литературы

1. *Калюжний П. Б., Слюсарев В. А., Калашник Д. О.* Армування виливків за технологією лиття за моделями, що газифікуються // *Металознавство та обробка металів.* – 2017. – №4. – С. 48-53.
2. *Анисимов Н. Ф., Благов Б. Н.* Проектирование литых деталей. – М.: Машиностроение, 1967. – 272 с.
3. *Ефимов В. А.* Специальные способы литья: Справочник / Под. общ. ред. В. А. Ефимова. – М.: Машиностроение, 1991. – 736 с.

УДК 621.74

Я.О. Сокрута, В.А. Ситник, О.С. Сергієнко

Запорізький національний технічний університет, Запоріжжя

ТЕХНОЛОГІЇ 3D ДРУКУ В ЛИВАРНОМУ ВИРОБНИЦТВІ

3D друк - це інструмент для розширення можливостей, які можуть вивести ливарне виробництво на принципово новий якісний рівень, він дасть змогу зменшити час, який проходить від етапу проектування, до випуску готової продукції. Можли-

вість друкувати 3D моделі виливків або стрижнів, прибере необхідність залучення цілої низки металообробних верстатів, та спеціалістів які на них працюють та їх обслуговують. Проектант може самостійно у найменші строки виготовити модель виробу на 3D принтері. Це дає змогу одразу наочно оцінити реальну конфігурацію моделі, можливі недоліки, перевірити сумісність з іншими деталями та вузлами машини, та при необхідності доробити.

Ще одним важливим фактором, є точність виготовлення моделей, яка нині може досягати 70 мкм [1]. Також важливим фактором є дешевизна матеріалів для виготовлення 3D моделей, у порівнянні з вартістю металу для виготовлення прес-форм, або моделей [2]. Найпоширенішими технологіями 3D друку є:

Стереолітографія SLA. Цим методом можна виготовляти моделі виливок і ЛЖС для лиття в землю; конструкторські прототипи, майстер-моделі, випалювані моделі з пластиків, полікарбонатів, і їх сумішей, шляхом пошарового затвердіння рідкого фотополімеру під дією променю лазера, точність друку 0,025-0,3 мм.

Лазерне спікання порошкових матеріалів SLS. Застосовується для виготовлення багаторазових моделей виливок і ЛЖС, піщаних форм, стрижнів для лиття в землю; конструкторських прототипів, майстер-моделей, та невеликих партій готових виробів з порошкових матеріалів (пластик, метал, пісок) и зв'язуючих (поліамід, полістирол), точність друку 0,05-0,2 мм.

Нанесення термопластів FDM. Принцип роботи полягає у затвердінні шарів напіврідкого матеріалу, який видавлюється (у вигляді нитки) тонкими шарами через сопло, це може бути ABS пластик, полікарбонати чи віск. Використовується у ЛВМ та ПГС для виготовлення: моделей виливок і ЛЖС; зразків, конструкторських прототипів, майстер-моделей з точністю 0,127-1 мм.

Електронно-променеве плавлення EBM. Друк відбувається шляхом спікання шарів металічного порошку в вакуумі електронними гарматами високої потужності. Можна виготовляти металічні вироби, дослідні зразки; багаторазові моделі виливок і ЛЖС для ПГС, та елементи оснащення з металів і сплавів з точністю 0,05-0,2 мм.

Багатоструменеве моделювання MJM. Процес поєднує риси SLA і FDM. Використовується для виготовлення високоточних майстер-моделей, моделей виливок і ЛЖС для ЛВМ та ПГС з термопластиків, фотополімерних смол, і воску. Точність до 0,016 мм.

Струменеве моделювання IJM. Принцип роботи полягає у нанесенні модельного і підтримуючого матеріалу на площину шару з наступною фотополімеризацією і

механічним вирівнюванням. Використовується для виготовлення моделей виливок і ЛЖС для ЛВМ; макетів; майстер-моделей, випалюваних моделей, прототипів з воску і термопластів. Точність друку до 0,02-0,2 мм [3, 4].

Використання технологій FDM, MJM, IJM дає економічну вигоду, якщо говорити про одиничне або дрібносерійне виробництво. У середньо- та крупносерійному виробництві доцільно використовувати багаторазові прес-форми, виготовлені за технологіями EBM та SLS, однак економічний ефект потрібно розраховувати для кожного випадку окремо.

З урахуванням переваг і недоліків 3D друку для ливарного виробництва, його можна рекомендувати для конструкторських бюро, невеликих підприємств, або підприємств, які займаються виготовленням унікальних виробів.

Список літератури

1. Обзор основных цен на металлопрокат в Украине : [Электронный ресурс]: програм. обеспечение и технолог. подходы // URL: <http://www.ups-steel.com.ua/prajs-ru>
2. Технические характеристики 3D-принтера по металлу SLM 125 : [Электронный ресурс] // URL: http://3d.globatek.ru/production/slm_125hl/
3. Дорошенко В.С. 3D-технологии для формовки и литья // Литье и металлургия. – 2015. – №3(80). – С.30-39.
4. Леушин И.О., Решетов В.А., Романов А.Д. Применение PR-технологий для изготовления малогабаритной оснастки в мелкосерийном производстве литья / И.О. Леушин // Известия МГТУ «МАМИ». – 2013. – №1(15). – С. 229-232.

УДК 621. 74: 389. 6

В. О. Стригун, Н. М. Волошин, С.В. Гнилокурченко

Фізико – технологічний інститут металів і сплавів НАН України, Київ

ДОСЛІДЖЕННЯ З ПИТАНЬ СТАНДАРТИЗАЦІЇ В ДІЯЛЬНОСТІ ТК 177 «ЛИВАРНЕ ВИРОБНИЦТВО»

Для забезпечення формування та реалізації державної політики у сфері стандартизації необхідне проведення комплексу досліджень існуючої бази стандартів згідно з законом України «Про стандартизацію».

Метою таких досліджень є приведення національної системи стандартизації у відповідність до міжнародних та європейських норм та правил.

За даними Технічного центру стандартизації НАН України за 2017 рік підвищено рівень гармонізації національних стандартів на 6 %. У 2017 році загальна кількість прийнятих національних стандартів склала 1439, із них: 81- стандарти, розроблені національними технічними комітетами стандартизації (ТК); 1358 – міжнародні та європейські стандарти, прийняті як національні, у тому числі 952 – європейські стандарти та зміни до них.

Станом на 01.01.2018 р. рівень гармонізації національних стандартів із міжнародними та європейськими складає 63%, а фонд національних стандартів України налічує 20 227 національні стандарти, із них: 12 882 – міжнародні та європейські стандарти, прийняті як національні; 5 901 – європейські стандарти, які прийняті як національні, із них EN - 5 683 стандарти, ETSI – 218 стандартів.

У І кв. 2018 року прийнято 54 національних стандарти, із них : 39 – стандарти, розроблені національними ТК; 15 – міжнародні та європейські, прийняті як національні, у тому числі 11- європейські стандарти та зміни до них.

У 2015 році скасовано 14 475 застарілих міждержавних стандартів (ГОСТ), розроблених до 1992 року, які втратили чинність у 2016, 2017, 2018 роках (деякі втрачуть чинність з 01.01.2019 року).

З метою впровадження передових технологій виробництва литва для забезпечення потреб вітчизняних та закордонних споживачів на базі Фізико-технологічного інституту металів та сплавів НАН України (ФТІМС НАН України) створено технічний комітет стандартизації (ТК) «Ливарне виробництво» (Наказ Національного органу стандартизації (НOC) від 17.06.16 р. № 180), а Наказом від 26.07.16 р. № 214 затверджено Положення про ТК 177. Головою ТК 177 призначено академіка НАН України Найдека В.Л., заступником голови – к. т. н. Клименка С.І., а відповідальним секретарем – к. н. д. у. Стригуна В. О.

Колективними членами ТК 177 зареєстровано ФТІМС НАН України, Асоціацію ливарників України, Департамент ливарного виробництва, Національну металургійну академію України та товариство «ТОВ «ВІЛІС».

Основним завданням ТК 177 визначено розробку державних стандартів України (ДСТУ) в галузі ливарного виробництва та перегляд і коригування діючих українських стандартів.

Для проведення досліджень та виконання завдань зі стандартизації створено 4 підкомітети а об'єктами стандартизації вибрані наступні: коди згідно з ДК 004:2008 (УКНД) - 77.140.80, 77.180.

За результатами першого року діяльності, технічний комітет стандартизації 177 «Ливарне виробництво» переглянув 17 національних стандартів України та надав висновки до НОС України.

У 2017 році з метою заміни міждержавного стандарту ГОСТ 977 - 88 «Отливки стальные. Общие технические условия» ФТІМС НАН України розроблено національний стандарт України «Виливки зі сталі. Загальні технічні умови».

На 2018 рік заплановано розробити національні стандарти України замість ГОСТ 7769 – 82 «Чугун легированный для отливок со специальными свойствами» та ГОСТ 1412 – 85 «Чугун с пластинчатым графитом для отливок».

Також заплановано створити новий підкомітет ПК 5 «Метали чорні вторинні» на базі Української асоціації вторинних металів.

УДК:621.78.062:621.791.725

А.Н. Тимошенко, В.П. Лихошва, М.И. Голубчик

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, г. Киев

Тел. 044-424-32-30, e-mail: Marschal@i.ua,

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАГРЕВА ЧАСТИЦ В УСЛОВИЯХ ЛАЗЕРНОГО И ГИБРИДНОГО ЛАЗЕРНО-ПЛАМЕННОГО НАГРЕВА

При исследовании процессов лазерной наплавки и легирования поверхностей, в технологиях «Rapid Prototyping» и новых методах получения литых композиционных материалов, где обработка частиц лазерным излучением имеет ключевое значение и осуществляется в защитных газовых средах, широко применяются методы компьютерного моделирования [1].

В качестве защитной атмосферы применяется аргон, гелий или углекислый газ. Известно, что при сварке наиболее часто используется газ CO₂. Кроме этого, существует необходимость дополнительного нагрева зоны обработки поверхности расплава, а также частиц, подаваемых в эту область.

Для сопоставления результатов, полученных при использовании инертного газа (аргона) в качестве создания защитной атмосферы в зоне лазерной обработки и горючего газа (пропана) для дополнительного нагрева частиц в процессе лазерной обработки, проведено компьютерное моделирование газодинамических и тепловых процессов в каналах фурмы и на выходе из неё.

Разработана конструкция фурмы с лазерным и дополнительным к нему газопламенным нагревом.

Установлено, что использование аргона в качестве боковой обжимающей струи способствует качественной защите обрабатываемой поверхности мишени, за счет увеличения плотности потока снижает возможность проникновения воздуха в область лазерной обработки, а посредством управления газодинамикой процесса позволяет варьировать размерами области защитной атмосферы и зоной лазерной обработки.

В условиях лазерного и совместного лазерно-пламенного нагрева частиц изучена траектория их движения в фурме и на выходе из нее. Установлено, что вследствие высокой инерционности частиц изменение давления газа в каналах фурмы в заданном диапазоне не влияет на траекторию движения частиц. Рассмотрена тенденция изменения давления газового потока в поперечном сечении в зависимости от соотношения расхода газов, подаваемых в каналы фурмы.

Для нагрева частиц с использованием смеси «воздух-пропан» определены наиболее оптимальные параметры процесса формирования потока, при которых возможен дополнительный нагрев частиц в потоке, а продукты реакции горения выполняют роль защитной среды в условиях гибридного лазерно-пламенного нагрева. При этом результаты компьютерного моделирования распределения температуры на выходе из фурмы показывают, что максимальный нагрев происходит вблизи поверхности расплава, охватывая весь поток частиц, что обеспечивает наиболее оптимальные условия дополнительного нагрева частиц и непосредственно поверхности расплава.

Исследовано распределение температуры по поверхности и в объеме частицы в зависимости от физических и термодинамических параметров материала частицы, ее скорости движения и условий обработки. Установлено, что применение горючей смеси газов «воздух-пропан» позволяет дополнительно увеличить нагрев частиц, а продукты реакции горения обеспечат формирование области защитной среды на поверхности изделия в зоне лазерной обработки расплава.

Список литературы

1. *Лихошва В.П., Тимошенко А.Н., Мосенцова Л.В., Савин В.В.* Динамика нагрева частиц, движущихся в поле лазерного излучения // Процессы литья. - 2017. - №6. - С. 44 – 53.

УДК 621.74.01

Ю. Н. Фасевич

Белорусский национальный технический университет, Минск

СТРУКТУРА УПРАВЛЕНИЯ КРИСТАЛЛИЗАЦИЕЙ ОТЛИВКИ ЗА СЧЕТ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПРИБЫЛЕЙ НА БАЗЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО АЛГОРИТМА ПРОЦЕССА ЛИТЬЯ

Основная цель разработки информационной системы (технологического алгоритма) выбора литниково–питающих систем определения пористости и времени охлаждения отливки - создание системы, которая позволит в короткие сроки корректировать технологический процесс, не прибегая к помощи современных систем моделирования литейных процессов [1].

Разрабатываемая система является промежуточным программным средством, которое работает в комплексе программных сред и занимает место между вычислительным экспериментом, осуществляемым в системе моделирования, и системой анализа и обработки данных Statistica. В комплексе эти системы решают следующие задачи:

1. Вычислительный эксперимент в системе моделирования;
2. Накопления экспериментальных значений, поиск значений параметров без проведения натурного эксперимента, определения оптимальных значений технологических параметров и форматирование данных в разрабатываемом проблемно-ориентированный программный комплекс.
3. Обработка данных, построение регрессионной модели с применением математического пакета программ «Statistica».

Представление о планируемом процессе работы разрабатываемого проблемно-ориентированного программного комплекса заключается в следующем:

Согласно структурной схеме (см. рис. 1) комплекса, исходные данные для численной модели должны формироваться в нескольких последовательно связанных системах (модулях):

1. Система проектирования - в ней формируется геометрический образ отливки с технологическими элементами: литниковой системой и питающей системой; здесь же осуществляется импорт в программу разбивки областей на конечные элементы;

2. Система формирования конечно-элементной сетки - в данной части комплекса формируется конечно-элементная сетка;

3. Вычислительный комплекс теплофизических параметров процесса формирования литой детали позволяет рассчитывать данные по пористости и времени охлаждения отливки (рис. 2), согласно геометрической модели, задаваемым температурным и физическим данным окружающих сред.

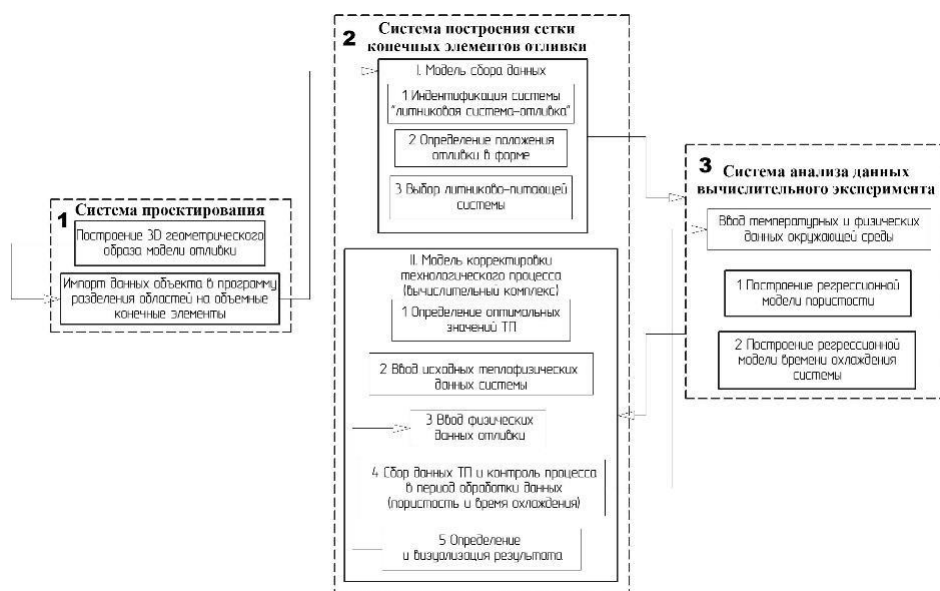


Рис. 1 - Схема взаимодействия технологических алгоритмов обеспечения вычислительного эксперимента

Данные для построения численной модели, после каждого эксперимента, поступают из модуля системы моделирования в систему для проведения регрессионного анализа и составления уравнения регрессии.

Программная система предназначена для сбора данных, передачи результатов эксперимента в систему анализа данных Statistica, обработки данных пользователя, определения разрешающего уравнения и выдачи результатов расчета техно-

логических параметров, на основании которых производится корректировка технологического процесса.

Анализ данных вычислительного эксперимента, в программном комплексе Statistica, рассчитан на получение данных и позволит связывать и внедрять в одну программную среду объекты иной программной среды. В Statistica производится отдельно сбор данных по пористости и по времени охлаждения, затем, на основании анализа определяются коэффициенты регрессии, которые передаются в программную среду.

Основной возможностью комплекса является то, что инженер-технолог может определять значения технологических параметров, не прибегая к расчетам в системе моделирования. Для этого вводятся значения двух факторов: температуры заливки $T_{зал}$ и габаритных размеров технологических элементов литниковой системы с теплофизическими свойствами прибылей (толщина стенки технологического элемента ($\delta_{тэ}$), мм), по этим данным выдается результат по пористости и времени охлаждения, а также инженер-технолог может получить значения исходных параметров по известному уровню качества отливки и времени охлаждения отливки до указанной температуры. Такая методика определения технологических параметров позволяет по заданным исходным значениям находить количественные оценки исследуемых параметров или решать обратную задачу по нахождению исходных данных по известным результатам эксперимента.



Рис. 2 - Опытно-экспериментальные образцы отливки

Список литературы

1. Кукуй, Д.М. Построение математической модели для оптимизации составов эффективных экзотермических смесей / Д.М.Кукуй, Ю.Н. Фасевич/ Литье и металлургия. – 2010. – №3 (спецвыпуск). – С. 108-111.

УДК 669.131.622:669.74

В.Е. Хрычиков, Ю.С. Пройдак, Е.В. Меняйло

Национальная металлургическая академия Украины, Днепр

**ВЛИЯНИЕ ВЫДЕЛЕНИЯ СКРЫТОЙ ТЕПЛОТЫ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ НА ПРОЦЕСС
ЗАТВЕРДЕВАНИЯ ОТЛИВКИ В КОМБИНИРОВАННОЙ КОКИЛЬНО-ПЕСЧАНОЙ
ФОРМЕ**

Процесс затвердевания отливок в комбинированных литейных формах рассчитывают, как правило, с помощью известных программ компьютерного моделирования ProCast, AFSolid (SolidCast), Magma, Simulor (Pamcast), LVMFlow, Полигон и др. Их функциональные возможности определяются типом генерируемой сетки - способом разбиения геометрической модели на элементарные объемы, размерами ячеек, исходными теплофизическими коэффициентами сплава и формы, которые должны зависеть от температуры. Точность расчета также зависит от кинетики выделения скрытой теплоты кристаллизации в интервале температур ликвидус-солидус. Базы данных, которые прилагаются к моделям, как правило, принимают равномерное выделение скрытой теплоты кристаллизации. В реальных процессах кристаллизации железо-углеродистых сплавов даже при использовании правила рычага видно, что в отливках из углеродистых сталей большая часть твердой фазы выделяется вблизи температуры ликвидус, а в чугунах, наоборот – при температуре солидус.

Поэтому целью работы является изучение влияния скрытой теплоты кристаллизации в интервале T_L - T_S на затвердевание чугунных отливок в комбинированных кокильно-песчаных формах.

Моделировали процесс затвердевания прокатного валка из доэвтектического чугуна, бочка которого охлаждается в кокиле, а верхняя и нижняя шейки – в песчаной форме. Модель основана на сопряженном численном решении двумерного нестационарного уравнения теплопроводности в областях жидкого и затвердевающего металла. Процесс затвердевания описывали в рамках квазиравновесной теории двухфазной зоны. Скрытую теплоту кристаллизации учитывали эффективным коэффициентом теплоемкости. Для повышения точности оценки влияния кинетики выделения скрытой теплоты кристаллизации, долю выделившейся твердой фазы устанавливали согласно результатам замеров на высокотемпературном дифференци-

альном термическом анализаторе (ВДТА). Например, для валков из ВЧ расчетные кривые охлаждения соответствуют экспериментальным (исследовали затвердевание прокатного валка массой 2,2 т) если при вблизи T_L выделяется $\approx 20\%$ твердой фазы, вблизи T_S - 70%, а остальные 10% внутри интервала температур T_L - T_S . Кроме того, введена поправка, учитывающая выделение теплоты фазового перехода при эвтектоидном превращении. Ее величину и температурный интервал выделения также определяли с учетом результатов, полученных на ВДТА и экспериментальных кривых охлаждения. Изменение толщины воздушного зазора между отливкой и кокилем рассчитывали в зависимости от толщины затвердевшего слоя металла.

Моделировали изменение температуры заливки чугуна при 1270, 1320, 1370, 1420 °C и скрытой теплоты кристаллизации в различных частях отливки.

Установлено, что в микрообъемах расплава на границе затвердевания в момент перехода из жидкого в твердое состояние выделение скрытой теплоты кристаллизации создает "тепловой экран" и замедляет теплоотвод из осевой зоны бочки в кокиль. Так, отношение выделившейся скрытой теплоты кристаллизации (300 кДж/кг) к теплоемкости чугуна (0,837 кДж/кгK) дает возможное повышение температуры металла на 358 °C. На основании этих расчетов многие исследователи утверждают, что в микрообъемах на конце растущего дендрита имеет место аномальное повышение температуры. Однако на экспериментальных кривых охлаждения отливок не фиксируется повышение температуры при T_L или T_S . Поэтому можно считать, что избыточное тепло отводится в литейную форму и в затвердевший слой металла, но не повышает температуру металла выше T_L или T_S . Образование разветвленных дендритов, как фрактальной структуры, обеспечивает максимально повышенный сток тепла от фронта затвердевания в литейную форму. Следует учитывать, что увеличение количества выделившейся скрытой теплоты кристаллизации приведет к остановке затвердевания до момента полного отвода тепла из микрообъемов расплава на фронте затвердевания.

Таким образом, результаты исследования позволили оценить влияния скрытой теплоты кристаллизации и температуры заливки на затвердевание чугунных отливок.

УДК 621.746.6:621.7.04

І. А. Шалевська, Т. В. Шевчук, Є. В. Погребач, С. В. Коломійцев

Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, Київ

**ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ РІЗНОВИДІВ ТОЧНИХ МЕТОДІВ
ЛИТТЯ**

Одним із актуальних наукових і практичних завдань ливарного виробництва є суттєве зменшення маси литих конструкцій для виробів машинобудування з метою запобігання перевитрат енергоносіїв, шихтових матеріалів, трудомісткості та підвищення екологічної безпеки. Базуючись на отриманих дослідженнях відділу фізико-хімії ливарних процесів під керівництвом проф. Шинського О. Й. розроблено загальний алгоритм впливу технологічних процесів отримання точних виливків на кінцевий результат (рис. 1) [1-3] та визначено основні параметри створення оптимальних технологічних процесів одержання литих конструкцій малої металоємності.



Рис. 1 Загальний алгоритм створення та реалізації ливарних процесів

Для створення систем автоматизованого проектування технологічного процесу потрібні нові методи розрахунку експлуатаційних характеристик литих деталей, прогнозованих властивостей високоміцних матеріалів, напружено-деформаційного стану виливків при їх твердінні та охолодженні з використанням напрацьованих у підрозділі комп'ютерних інформаційних технологій та адаптованих комп'ютерних програм кінетики кристалізації, структуроутворення виливків, спрямованих на розробку автоматизованих систем проектування литих конструкцій та технологічних процесів для їх виготовлення з відповідними базами даних.

В створену єдину систему оптимізації литих деталей та конструкцій малої металоемності входить використання адаптованих до ливарних процесів програмних продуктів комп'ютерного тестування литих конструкцій у трьохмірному просторі (3D-моделі) за напружено деформованим станом, алгоритм технологічного процесу з обов'язковим урахування теплофізичної моделі та можливості інтенсифікації процесу теплообміну, вплив ливарної форми та моделі на тепло-, масо-, газообмінні процеси, а також розрахунки утворення викидів шкідливих речовин та методика розрахунку економічної ефективності.

Перелік літератури

1. Шуляк В. С. Литьё по газифицируемым моделям. — СПб.: НПО «Профессионал», 2007. — 408 с.
2. Репях С.И. Технологические основы литья по выплавляемым моделям. - Днепропетровск: Лира, 2006. - 1056 с.
3. Григорьев В. М. Литье по выжигаемым моделям. Хабаровск: Издательство ХГТУ- 2002. 56 с.

УДК 621.74

А. И. Шамрай, Е. А. Костик, Д. В. Мариненко, О. А. Чибичик

Национальный технический университет

«Харьковский политехнический институт», Харьков

**ОПТИМИЗАЦИЯ РАСЧЕТА И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРИБЫЛЕЙ ДЛЯ ОТЛИВОК ИЗ
НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ**

Литье является базовым заготовительным этапом большинства производств. Для выполнения в них элементов крепления или усиления конструкций, на стенки отливок добавляются технологические массивные узлы, который в последствии подвергаются механической обработке. Отливки из нержавеющей стали, в своем большинстве, применяются для ответственных элементов, работающих в тяжелых условиях, а увеличенная, по сравнению с обычными сталями, объемная и линейная усадка нержавеющей стали усложняет процесс получения качественной отливки. Поэтому разработка и оптимизация способа получения качественных отливок с массивными узлами является актуальной задачей литейного производства.

Целью работы является определение оптимальных параметров конструкции прибылей и холодильников для получения качественных отливок.

Рассмотрев основные виды брака в массивных узлах и на границе с ними, удалось выявить основные факторы, влияющие на их появление. Самым распространенным, из технологичных, способом решения большинства проблем оказалось применение холодильников и прибылей, а также их комбинация.

В работе представлены самые распространенные виды исполнения прибылей, описана их особенность, способ применения и КПД, представлен вариант расчета и даны рекомендации по проектированию.

Для самопроверки спроектированной технологии, было выполнено компьютерное моделирование заливки и кристаллизации отливки с помощью программного пакета LVMFlow. Для сравнения эффективности разных типов прибылей были проанализированные температурные поля в отливке.

Таким образом, данные полученные в ходе работы позволят оптимизировать процесс выбора технологических и конструктивных параметров создания отливки с массивными элементами из нержавеющей стали.

УДК 621.375.826

А. П. Шатрава, В.П. Лихошва

Физико-технологический институт металлов и сплавов

НАН Украины, г. Киев

Тел./факс: +38044 424-3230, e-mail: plazer_v@mail.ru

КОМБИНИРОВАННЫЙ ЛИТЕЙНО-ЛАЗЕРНЫЙ МЕТОД СОЕДИНЕНИЯ ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫХ И ЦВЕТНЫХ СПЛАВОВ

Применение биметаллических изделий или слоистых композиций, получает все большее распространение при производстве и восстановлении изношенных деталей в химической, нефтехимической, пищевой и общемашиностроительной промышленности благодаря получению уникальных комплексов свойств (высокая износостойкость, коррозионностойкость, прочность, жаропрочность, электропроводность и др.), которыми не обладают их составляющие по отдельности. При этом композиция может состоять не только из двух, но и из большего количества металлов, обладающих различными характеристиками.

В связи с возрастающими требованиями современной промышленности в необходимости производства деталей, обладающих целым комплексом необходимых эксплуатационных свойств – перед исследователями возникает потребность в разработке комбинированных (гибридных) методов получения биметаллов, которые имеют хорошую перспективу.

Авторами данной работы предусмотрено создание нового литейно-лазерного метода получения биметаллических и многослойных изделий, что позволяет совместить преимущества использования концентрированных источников энергии с традиционными литейными технологиями производства и восстановления деталей машин.

Учитывая особенности данного технологического процесса, в работе принимались следующие значения основных параметров: мощность излучения (P) – 500...900 Вт; диаметр пятна фокусирования (d_n) - 0,2...0,5 см; скорость движения луча (V) - 1...1,2, см/с; материалы – стали марок: 3, 25, 30, чугуны марок: Сч25, Сч30, ЧХ16, бронзы ОЦС, алюминиевые сплавы Ак7, Ак9.

Полученные результаты показали, что метод позволяет получать биметаллические изделия с плотным переходным слоем из железоуглеродистых, медных и алюминиевых сплавов. При этом, для повышения физико-механических характеристик поверхностных рабочих слоев, они подвергались термической обработке. Твердость серых и хромистых чугунов после термообработки составляла до 55 -62 HRC.

При заливке чугуна на сталь происходит перемешивание исходного и залитого слоев, в частности при заливке хромистого чугуна происходит диффузия хрома из чугуна ЧХ16 в сталь.

В результате заливки жидкой бронзы БрО5Ц5С5 на расплавленную под действием лазерного излучения поверхность заготовки из стали 3, получены биметаллические образцы с плотным соединением слоев по линии контакта. Структура залитого слоя бронзы аналогична структуре в литом состоянии, при этом происходит ее диспергирование в результате повышенной скорости охлаждения при затвердевании. Твердость бронзы и стали не претерпевает изменений.

Переходной слой между залитым алюминиевым сплавом и сталью неравномерный и изменяется от 7 до 21 мкм. Очевидно, это связано с наличием тугоплавкого оксида Al_2O_3 на поверхности Ак7, который препятствует формированию диффузионного соединения этих сплавов.

Выводы:

1. Предложен новый метод жидкофазного соединения различных материалов для получения биметаллических конструкций при использовании литейных технологий и лазерной обработки.

2. Показано, что литейно-лазерный метод позволяет качественно соединять биметаллические конструкции не только на основе черных сплавов (сталь – чугун), но и композиции черных и цветных сплавов (сталь – бронза, бронза – алюминий).

3. В результате исследований установлено, что данный метод гибридного литейно-лазерного жидкофазного соединения позволяет получить значительные технические и экономические результаты, из которых наиболее важными являются: увеличение ресурса эксплуатации деталей машин в 2,5 - 6,0 раз по сравнению с серийными изделиями и уменьшение до 70 - 80% расходов высоколегированных дорогостоящих материалов.

УДК: 669.715.66.03

В. Ю. Шейгам, Н. П. Исайчева, А. Г. Пригунова, Л. К. Шеневидько

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

Тел.: 0444241150, e-mail: onmlptima@ukr.net

ВЛИЯНИЕ РЕВЕРСИВНОГО ПЕРЕМЕШИВАНИЯ НА СТРУКТУРУ ПОТОКОВ В РАСПЛАВЕ

Перемешивание, как один из технологических приемов подготовки расплава перед заливкой его в литейную форму, а в некоторых случаях и в процессе формирования отливки, осуществляют с помощью различных способов. Среди них особое внимание уделяется механическому перемешиванию, внедрение которого в производство не требует дорогостоящего оборудования, значительных материальных затрат, характеризуется простотой реализации и надежностью контроля параметров процесса, хорошо вписывается в существующие технологии литейного производства.

Для качественной обработки необходимо привести в движение каждый элемент расплава, что обеспечивает отсутствие застойных зон. Причем траектории движения потоков не должны быть замкнутыми, чтобы близко расположенные в начальный момент элементы не сближались в дальнейшем, создавая хаотичное движение по всему объему тигля.

Для исследования выбрали турбинную мешалку, которая по сравнению с лопастной и дисковой характеризуется меньшим временем для приведения в движение объемов перемешиваемой среды и обеспечивает одновременный подъем частиц со всей поверхности дна, что повышает эффективность процесса перемешивания.

Исследование развития внутренней структуры потока металла и однородность распределения индикаторов (частиц) во всем объеме тигля осуществляли методом моделирования с использованием турбинной мешалки при ее вращении по часовой стрелке, а затем против неё, т.е. в реверсивном режиме.

Использовались следующие режимы реверсивного вращения: 1/1, 2/2 и 3/3 (т.е. один оборот по часовой стрелке, другой – в противоположном направлении и т.д.) при скорости вращения мешалки 200 и 400 об/мин.

На рисунке приведены фотографии отдельных фрагментов видеозаписи

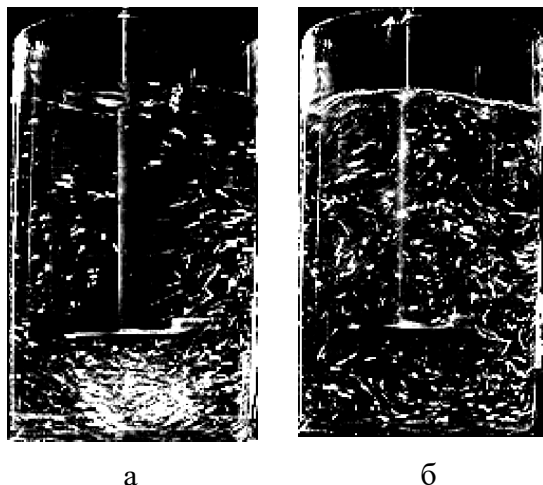


Рисунок – Моделирование процесса перемешивания

процесса перемешивания турбинной мешалкой при одностороннем (а) и в реверсивном 1/1 (б) режимах. Расстояние от мешалки до дна 42 мм, скорость вращения 400 об/мин. Как видно из рисунка, при одностороннем режиме вращения за 3,4 с индикаторы потока лишь частично заполнили объем над мешалкой, а в реверсивном режиме за 3,2 с все частицы во всем объеме вовлекаются в движение.

Сравнивая структуры потоков одностороннего и реверсивного режимов перемешивания, установили, что при реверсивном вращении структура потока не имеет стабильного циркуляционного характера. Формируются турбулентные и струйные потоки в переменных направлениях, вследствие чего каждый элемент среды приведен в движение.

Наилучший результат по распределению частиц достигается при реверсивном перемешивании в режиме 1/1, при котором создаются встречные потоки, приводящие к высокой степени хаотичности движения, с одновременным процессом устранения воронки.

Полученные результаты могут быть использованы для совершенствования термовременной обработки алюминиевых сплавов.

УДК 621.74:658.2

О. И. Шинский, И. А. Шалевская, В. О. Шинский

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

**«ПРИМЕНЕНИЕ ПРИНЦИПА ПАРЕТО ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ВОЗДЕЙСТВИЯ ПАРАМЕТРОВ И ЛИТЕЙНЫХ ОБЪЕКТОВ ПРИ ЛИТЬЕ ПО
ГАЗИФИЦИРУЕМЫМ МОДЕЛЯМ НА КАЧЕСТВО ОТЛИВОК»**

Литейное производство является многофакторным процессом, так, при реализации полного цикла изготовления отливок из железоуглеродистых сплавов по газифицируемым моделям для контроля технологических параметров, а также экологического состояния литейных объектов, потребуется опросить первичные источники информации 1023- 5115 раз в смену или 205- 1025 раз в час [1]. В связи с этим становится целесообразным использовать современные компьютерные информационные технологии. Вместе с тем становится возможным уменьшить количество значимых факторов первого, второго, третьего порядка путем дополнительной их оценки с использованием математическо-аналитического метода прогнозирования эффективности событий в виде закона Парето [2].

Этот Закон или Принцип 80/20 предопределяет, что небольшая доля причин, вкладываемых средств или прилагаемых усилий, отвечает за большую долю результатов, получаемой продукции или заработанного вознаграждения.

Закон Парето давно используется в экономических науках, а в последнее время стал использоваться и для оценки влияния множества факторов на качество продукции [3].

Установим целесообразность и объективность закона Парето для теории и практики литейного производства.

Для оценки рейтинга эффективности факторов первого, второго и третьего порядка целесообразно воспользоваться методами многофакторного корреляционно-регрессионного анализа, который позволяет, во-первых, в изучении целого ряда факторов, влияющих на исследуемый показатель и отборе наиболее значимых; во-вторых, в определении степени влияния каждого фактора на результативный признак путем построения модели – уравнения множественной регрессии, которая позволяет установить, в каком направлении и на какую величину изменится результативный показатель при изменении каждого фактора, входящего в модель; в-третьих,

в количественной оценке тесноты связи между результативным признаком и факторными.

Оценку влияния (рейтинга) для применения в законе Парето каждого из частных факторов целесообразно произвести с использованием коэффициента влияния K_B , который определяется из соотношения

$$K_B = \frac{R}{(r_{yx1}, r_{yx2}, r_{x1x2})} \quad (1)$$

Далее устанавливается рейтинг K_B в порядке убывания, при этом определяются первых три значения, которые суммарно в большинстве случаев определяют суммарное значение отклика, который равен или превышает 80 % от максимально возможного значения, и на основании этих данных производится построение диаграммы Парето.

Таким образом, адаптация закона Парето для решения эффективных задач в научных и прикладных исследованиях, позволяет не только фильтровать излишние факторы контроля и управления технологическими процессами и литейными объектами, которые участвуют в комплексном цикле изготовления литейной продукции заданного качества, но и дает возможность прогнозировать и корректировать в онлайн параметры процессов, литейных объектов и экологических параметров с целью достижения поставленных задач, обеспечивающих производство литых конструкций высокого качества с минимальными энергетическими и материальными затратами, а также высоким уровнем экологической безопасности.

Список литературы

1. Отчет НИОКР (шифр темы: III-24-12-623-31), «Разработка теоретических и технологических основ комплексного контроля, управления физико-химическими и технологическими процессами формообразования с применением дистанционного компьютерного мониторинга характеристик отливок, состояния оборудования и экологической безопасности окружающей среды» (научн. руководитель, д.т.н., проф. О.И. Шинский), ФТИМС НАН Украины, Киев 2016, 664 с.
2. Wikipedia. Режим доступа: <http://www.wikipedia.org.ru>
3. Льюис К.Д. Методы прогнозирования экономических показателей / Пер. с англ. — М.: Финансы и статистика, 1986. — 133 с.

УДК: 669.1.017:620.178.3

С.Я. Шипицын, Т.В. Степанова, В.Ф. Мазанко*, А.В. Филатов*

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, г. Киев

Тел./факс: 0444243512, e-mail: odus@ptima.kiev.ua

*Институт металлофизики им. Г.В. Курдюмова НАН Украины (ИМФ), г. Киев

ВЛИЯНИЕ ДИСПЕРСИОННОЙ НИТРИДНОЙ ФАЗЫ В МАТРИЦЕ НА ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЕ УГЛЕРОДА В ЗОНЕ ЦИКЛИЧЕСКОГО СИЛОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРИ ИСПЫТАНИИ СТАЛЕЙ НА УСТАЛОСТНУЮ ВЫНОСЛИВОСТЬ

В ФТИМС НАН Украины разработана технология дисперсионного нитридного упрочнения конструкционных и специальных сталей, обеспечивающая коренное повышение уровня их физико-механических и функциональных свойств, в том числе усталостной прочности и выносливости [1]. При исследовании последних установлено, что дисперсионная нитридная фаза в матрице снижает интенсивность и сокращает зону растворения цементитной фазы в области интенсивного знакопеременного силового нагружения.

Процесс растворения цементитной фазы при высокоскоростном силовом нагружении при комнатных температурах при упругой и пластической деформации был установлен еще в 80-90 г.г. прошлого столетия сотрудниками ИМФ НАН Украины и связывался с «вытягиванием» атомов углерода из кристаллической решетки цементита с образованием сегрегаций на дислокациях и субмикротрещинах [2,3]. Но, по-прежнему, не установлен процесс макропереноса углерода, «вытягиваемого» из цементитной фазы, и влияния на него дисперсионной нитридной фазы в матрице.

Объектами исследований по данному вопросу были сталь 45Х1Г1С без и с дисперсионным нитридным упрочнением. Радиоактивный изотоп углерода С-14 в стали вводили по методике [4,5], а распределение углерода после испытаний образцов на усталостную выносливость определяли методом автораддиографии [6,7]. Усталостную выносливость сталей определяли методом симметрического консольного изгиба плоского образца при частоте нагружения 25Гц.

Металлографический анализ показал, что дисперсионное упрочнение матрицы наноразмерными частицами VN существенно, до 2-х раз, сокращает зону растворения цементитной фазы (рис.1).



Рис. 1 – Микроструктура сталей без (а) и с дисперсионным нитридным упрочнением (б) (x400)

Исследования на Оже-микронзонде с полевым эмиссионным катодом JAMP-9500F фирмы JOEL (Япония) не установили изменение распределения углерода в зоне усталостного разрушения образцов, а метод авторадиографии, по достоверности на несколько порядков превышающий погрешность эксперимента, показал, что дисперсионная фаза VN повышает концентрацию углерода в зоне усталостного разрушения (рис. 2).

Полученные экспериментальные данные, а именно, повышение, за счет дисперсионного упрочнения матрицы частицами VN до 5 раз, усталостной выносливости стали, сокращение в 1,5-2,5 раза зоны растворения цементитной фазы в области усталостного разрушения, повышения в ней прочности (микротвердости) металла и накопления углерода позволяют сделать вывод, что основной причиной, по-видимому, является снижение подвижности деформационных дислокаций за счет упрочнения матрицы частицами VN по механизму Орована.

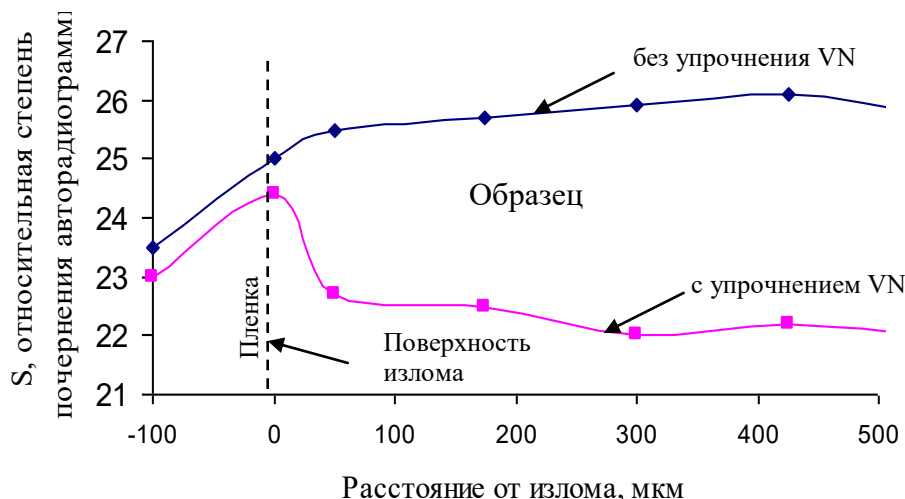


Рис. 2 – Концентрационные кривые распределения радиоактивного изотопа С-14 в сталях после испытаний на усталостную выносливость.

Список литературы

1. Бабаскин Ю.З., Шипицын С.Я., Кирчу И.Ф. Конструкционные и специальные стали с нитридной фазой. – Киев: Наук.думка. – 2005. – 371с.
2. Герцрикен В.Ф., Мазанко В.Ф., Фальченко В.М. Импульсная обработка и массоперенос в металлах при низких температурах. – Киев: Наук. думка. – 1991. – 204 с.
3. Гаврилюк В.Г. Распределение углерода в стали. – Киев: Наук. думка. – 1987. – 208 с.
4. Борисенко Г.В. и др. Химико-термическая обработка металлов и сплавов. Справочник. – М.: Металлургия. – 1981.
5. Лахтин Ю.М. и др. химико-термическая обработка металлов. – М; Металлургия. – 1985.
6. Бобиков Ю.Ф. и др. аналитическая автордиография. – М.; Энергоатом издат. – 1985. – 160 с.
7. Ларионов Л.Н., Исайчев В.И. Диффузия в металлах и сплавах. Справочник. – Киев; Наук. думка. – 1987. – 511 с.

УДК 621.74.046:669.162.275:669.14

О.В. Шматко, В.П. Лихошва, Л.М. Клименко

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

Тел. 044-424-323-30, blacknorfolk@gmail.com**МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАТВЕРДЕВАНИЯ РАСПЛАВА В КРИСТАЛЛИЗАТОРЕ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ БИМЕТАЛЛИЧЕСКОЙ КОНСТРУКЦИИ ЛИТЕЙНО-ПЛАЗМЕННЫМ СПОСОБОМ**

При современном развитии технологий основной остается проблема изнашивания деталей машин и механизмов во всех областях промышленности. Согласно [1], треть мировых энергетических затрат приходится на замену, ремонт и восстановление изношенных деталей, причем половина от всех потерь припадает на процессы связанные с абразивным износом. В частности актуальной является проблема увеличения срока эксплуатации машин и механизмов горнодобывающей промышленности.

С целью решения вышеперечисленных проблем в ФТИМС НАНУ предложена непрерывная литейно-плазменная технология получения простых биметаллических конструкций типа «полоса» [2], суть которой заключается в предварительном нагреве полосы до температур необходимых для диффузионного соединения с последующей заливкой жидкого расплава.

Важным аспектом технологии является кристаллизация расплава. Характер охлаждения расплава в кристаллизаторе непосредственно влияет на качество выпускаемого изделия.

В рамках разработки литейно-плазменной технологии было проведено численное моделирование процесса охлаждения расплава с целью определения фронта кристаллизации и выбора оптимальных скоростей подачи полосы, которые определяют общую скорость проведения процесса.

Для расчета использовался медный П-образный кристаллизатор с длиной 150 мм. Поперечное сечение заготовки и чугуного слоя $Ш \times В = 70 \times 10$ мм и $Ш \times В = 50 \times 20$ мм соответственно. Поскольку процесс непрерывный, то длина биметаллической конструкции принималась условно бесконечной. В качестве материала основы задавали сталь Ст20, а наплавляемого слоя – ЧХ16. Вычисления проводились для интервала скоростей 2-20 мм/с.

По результатам исследования был проведен анализ возможности прорыва корочки, проливания расплава при практическом проведении процесса и возникновения усадочных дефектов по сечению изделия. Сформулированы следующие выводы:

Для скоростей подачи заготовки 2-8 мм/с характерно полное охлаждение подаваемого расплава до температур солидуса на момент выхода из кристаллизатора. Поскольку на выходе из кристаллизатора отсутствует жидкая фаза внутри объема чугунного слоя, то снижается риск образования усадочных дефектов за счет подпитки жидким металлом. При скорости подачи заготовки 2-6 мм/с условия кристаллизации выполняются, тем не менее, при заданных размерах кристаллизатора производительность процесса низкая. Оптимальной скоростью проведения процесса является 6-8 мм/с. Для повышения скорости движения полосы необходимо увеличивать время контакта со стенкой кристаллизатора путем увеличения его длины и уменьшения проходного сечения для снижения влияния воздушного зазора на процессы теплопереноса от расплава.

Список литературы

1. *Брыков М.Н.* Износостойкость сталей и чугунов при абразивном изнашивании: Научное издание / *М.Н. Брыков, В.Г. Ефременко, А.В. Ефременко.* – Херсон: Гринь Д.С., 2014. – 364 с.
2. Патент України на корисну модель UA №54486, B22C 19/00. Спосіб одержання зносостійких багатощарових металевих виливків / *Лихошва В.П., Найдек В.Л., Каричковський П.М., Пелікан О.А., Глушков Д.В., Надашкевич Р.С.* - № u201005922; заявл. 17.05.2010; опубл. 10.11.2010. – Бюл. № 21/2010.

УДК 669.14

Ю. А. Шульте, В. И. Гонтаренко, В. А. Титаренко

Запорожский национальный технический университет, Запорожье

МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ И СВОЙСТВА СТАЛИ

«Прогресс в машиностроении неразрывно связан с развитием основной заготовительной базы – литейного производства» Ю.А.Шульте.

Для изучения металлургических факторов на свойства стали применяли методы фракционного легирования и модифицирования, позволяющие на одной исходной плавке наиболее объективно оценить удельное влияние изучаемых факторов. Этот метод заключался в применении двухступенчатой фракционной разливки – из электропечей сталь выпускали в раздаточные ковши и из последних заливали в малые заливочные ковши, при наполнении которых проводили соответствующее легирование или модифицирование. При плавке в индукционных печах металл в заливочные ковши поступал непосредственно из тигля печи.

Исследовали влияние содержания серы и природы сульфидных включений на показатели вязкости, хладнотойкости и пластичности. Плавки проводили в индукционной электропечи. Содержание серы изменяли от 0,003 % до 0,050 %. Управление природой включений проводили применением силикокальция и ферроцерия. Содержание алюминия во всех плавках составило около 0,04 %. Неметаллические включения и механические свойства изучали, как в литом, так и в деформированном металле. Применили объективный метод подсчета включений ЦНИИЧМ (объемный %) и линейный метод (индекс загрязненности). Установили решающее влияние степени загрязненности стали сульфидными включениями на показатели ударной вязкости и хладнотойкости. Так, например, для температуры -60 °С при изменении содержания серы с 0,005 до 0,020 % ударная вязкость снижалась с КСУ 30 до 15 Дж/см², а при 0,050 % падала до 3 Дж/см². При этом заметно снижалась и пластичность. Применение таких модификаторов-глобуляризаторов, как кальций и церий оказалось эффективным только при содержании серы более 0,020 %, при этом сульфидные включения и оксисульфидные комплексы глобуляризировались и ударная вязкость соответственно повышалась.

Для повышения хладнотойкости стали наиболее эффективным является возможно большее снижение содержания серы. При этом достигаются наивысшие показатели вязкости и пластичности во всех диапазонах температур. При содержании серы (более 0,020 %) является целесообразным применять модификаторы-глобуляризаторы, существенно улучшающие природу включений.

УДК 621.74.074

В. А. Щерецкий, А. С. Затуловский, Е. А. Набока

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ВТУЛКАХ С МОНОМЕТАЛЛИЧЕСКИМ И КОМПОЗИЦИОННЫМ ПЛАКИРУЮЩИМ СЛОЯМИ

Остаточные напряжения в биметаллических втулках рассчитывались с применением численных методов с компьютерной реализацией, которые используются для расчета статических и динамических нагрузок в механико-машиностроительных и строительных конструкциях. Был использован широко распространенный на данный момент метод конечных элементов, который позволяет моделировать сложное напряженно-деформированное состояние конструкций произвольной геометрии с учетом разнообразных видов и параметров нагружения в том числе от температурных воздействий.

В качестве объекта исследований выбран подшипник скольжения (биметаллическая втулка), в качестве материала основы использовали Сталь 25, материалы плакирующих слоев – бронза БрАЖ9-4 и ЛКМ на основе матрицы из БрАЖ9-4 и стальной дроби. При расчетах принимали следующий состав ЛКМ: стальная дробь – 60 об. %, матричный сплав – 40 об. %. Свойства материалов основы и плакирующего слоя приведены в таблице.

Таблица – Механические и теплофизические свойства материалов основы и плакирующего слоя

Материал	ρ , кг/м ³	E, ГПа	σ_B , МПа	σ_T , МПа	Коэф. Пуассона	ТКЛР, 10 ⁻⁶ /°C	T _{упр-пл} , °C
<i>Основа</i>							
Сталь 25	7820 [1]	198 [1]	450 [1]	310 [1]	0,27	14,3 [1]	450-600 [2]
<i>Плакирующий слой</i>							
БрАЖ9-4	7640 [3]	105 [3]	550 [3]	185 [3]	0,24	16,2 [3]	300-350 [3]
ЛКМ	7748*	161*	550	-	0,26*	15,1*	300-350 [3]

* Свойства рассчитывались как аддитивные исходя из состава

Остаточные напряжения в значительной степени зависят от температурно-временных параметров охлаждения биметаллических изделий в процессе их формирования. Оптимальным режимом охлаждения для них является охлаждение с печью со скоростью ≈ 100 °С. При такой скорости охлаждения температурные градиенты будут менее $0,1$ °С/мм и влиять на остаточные напряжения практически не будут. Результаты выполненных расчетов показывают (рис. 1), что для биметаллической втулки с монометаллическим плакирующим слоем (БрАЖ9-4) остаточные напряжения в нем у поверхности контакта со стальной основой составляют 70,5 МПа.

Для случая композиционного плакирующего слоя (ЛКМ) эта величина составит 40,9 МПа, что в 1,73 раза меньше. Остаточные напряжения в стальной основе у поверхности контакта составляют 12,8 и 7,1 МПа для монометаллического и композиционного плакирующего слоев соответственно. При удалении к наружной поверхности они снижаются к нулю. Кроме этого следует отметить, что уровень напряжений в плакирующем слое практически не меняется по его толщине.

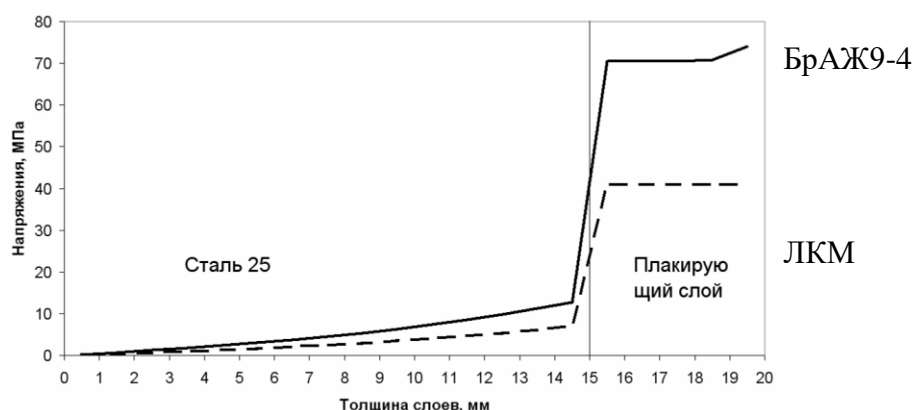


Рис. 1 – Распределение остаточных напряжений в биметаллических втулках с различным материалом плакирующего слоя

Список литературы

1. Марочник сталей и сплавов / В. Г. Сорокин, А. В. Волосникова, С.А. Вяткин и др.; Под общ. ред. В. Г. Сорокина. - М.: Машиностроение, 1989. – 640 с.
2. Теория термической обработки металлов. Учебник. 2-е издание. Новиков И.И. М., «Металлургия», 1974, С.114-120.
3. Термическая обработка сплавов: Справочник. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отделение, 1982. – С.125.

УДК 620.181

В. А. Щерецкий, А. С. Затуловский, Е. А. Набока

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

**НОВЫЕ ЛИТЫЕ КОМПОЗИТЫ НА ОСНОВЕ НЕСМЕШИВАЮЩИХСЯ
КОМПОНЕНТОВ**

Данная работа посвящена созданию новых износостойких композиционных материалов с матрицей из медных сплавов армированных дисперсными высококомодульными фазами, которые образуются вследствие твердо-жидкого массопереноса, монотектического расслоения жидкостей и химического синтеза в системе Cu-Fe-C-x, где x – это жаропрочные металлы, которые формируют высококомодульные карбиды и интерметаллиды (Ti, W, Mo, Co, Ni).

Схема эксперимента для изучения расслоения при монотектической реакции в системе Cu-Fe-C представлена на рис. 1.

Расположение пластин в форме «под углом» обусловлено необходимостью изучения влияния расстояния между низко- и высокоуглеродистым слоем на процесс образования эндогенных железистых фаз в получаемом композите.

В расплаве в температурном интервале расслоения жидкости в системе Fe-Cu-C обогащение медного расплава железом происходит преимущественно за счет низкоуглеродистой стали, а углеродом за счет пластины из стали с большим содержанием углерода.

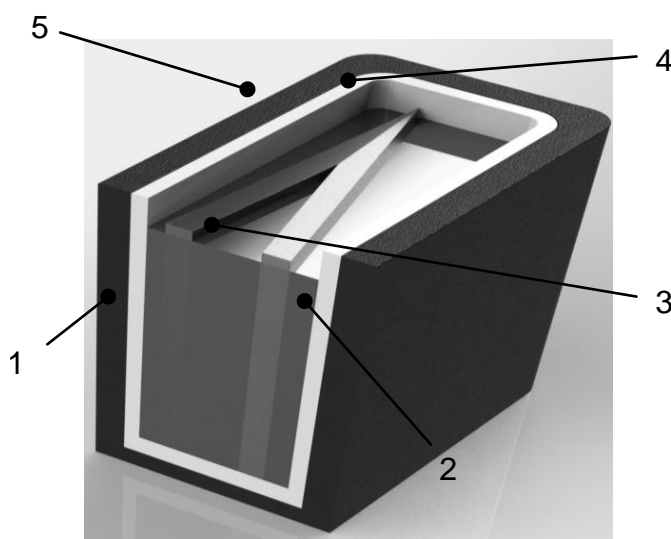


Рис. 1. Схема эксперимента

1-тигель, 2-кварцевая облицовка, 3-расплав меди, 4-стальная пластина (0,45 %C); 5-стальная пластина (0,8 %C)

В результате, реализуется механизм, когда обогащенный железом медный расплав расслаивается вблизи более высокоуглеродистой стали и обогащенная медью жидкая фаза (L2) смешиваясь с исходным (не расслоившимся бинарным медным расплавом, содержащим равновесную концентрацию железа соответствующую температурному режиму консолидации) создает поток вещества понуждая перемещение жидкой фазы обогащенной железом (L1) в сторону пластины с более низким углеродом. После охлаждения структура композиционного слоя слоистой системы состоит из железистых фаз – «мостиков» между пластинами с большим и меньшим углеродом, а также твердых растворов на основе железа и меди (рис. 2).



Рис. 2 Микроструктура литого композиционного материала

Таким образом, получен in-situ композиционный материал, где в мягкой матрице расположены более твердые армирующие частицы. Структура такого материал соответствует правилу Шарпи, имеет повышенную износостойкость, и может применяться в качестве антифрикционного в тяжело нагруженных узлах трения.

UDC 721.74

V. Yurchenko, T. Berlizeva, O. Ponomarenko

National Technical University
«Kharkov Polytechnic Institute», Kharkov

DIFFERENT WAYS OF INPUT OF ADDITIONS IN CHM WITH LIQUID GLASS

Using as connective liquid glass (LG) for making of molding and cored mixtures allows to get more durable forms, bring down metal consumption of founding due to the receipt of more thin-walled wares and improve quality founding.

However the basic lack of technologies on LG is bad knockout bars from founding and founding from forms. For an improvement knockout apply the different modifiers of liquid glass or input of softening additions in mixture. The large variety of additions that reduce remaining durability and it is improved the same knockout forms and bars offers presently.

Additions at the place of input in mixture it is possible to divide into organic and inorganic. To inorganic additions behave: clay, hydrate of oxide of aluminium, bentonite, domain slag, ferrochrome slag, is a phosphoryl, pulverulent wastes of earth-flax, vermiculite, SK- 3, SK-3B2, SK- 3 B10, SK-3k and SK-3b of and other.

As organic additions use a charcoal, rosin soap, fuel oil, coal pitch, sugar, sunflower husk, glycerin, glucose, ethylene and diglycol, vinyl chloride, nitrates, phosphates, black and silvery graphite, petroleum and coal coke, earth-flax, gum-lacs, pulverbakelite, petroleum oils, radol paste, solution from wastes of expanded polystyrene in turpentinic turpentine of and other.

Additives that are introduced into the liquid glass, with the aim of improving its properties, are called modifiers, and the binder with special additives - modified or activated. The modifiers of the JS include additives of an inorganic or organic nature that are capable of dissolving in it with the formation of solutions that stably retain their aggregate state under normal conditions during the technologically necessary time.

Additives in the mixture or liquid glass has a number of drawbacks, so when preparing the mixtures, the following rules must be adhered to:

1) When entering the modifier in a liquid glass, it is necessary to monitor the bonding properties of the liquid glass;

2) It is necessary to thoroughly mix the mixture so that the additives are uniformly distributed in the molding mixture and the sand grains of the mixture are well enveloped.

In order to determine the most effective method for obtaining high-quality mixtures, it is proposed to use several compositions of the mixtures. Triacetin with furfuryl alcohol (1: 1 ratio) as an ether hardener was added in a mixture with a conventional and modified sodium hexametaphosphate liquid glass.

УДК 621.74

И. С. Юсубов, Е. А. Костик, Д. В. Мариненко, О. А. Чибичик

Национальный технический университет

«Харьковский политехнический институт», Харьков

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЛИТНИКОВОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ СТАЛЬНЫХ РАЗНОСТЕННЫХ ОТЛИВОК

С усовершенствованием возможностей компьютерного проектирования, геометрическая сложность элементов непрерывно возрастает. Поскольку углы в отливке всегда представляют собой потенциальное место для напряжений и трещины, то разностенность еще сильнее усложняет процесс получения качественной отливки, а так как в некоторых случаях сварка попросту не допустима, получение отливки в литье есть единственный возможный способ для получения нужной заготовки. Поэтому исследования основных способов подвода металла в форму и методы их расчета является актуальной задачей для литейного производства.

Целью работы является проанализировать эффективность распространенных вариантов литниковых систем и разработать средство оптимизации для их расчета на этапе проектирования.

Для проведения анализа и расчетов были определены основными процессы в форме, такие как: траектория и скорость заполнения формы; распределение температурных полей; выявление горячих точек и концентрации горячих масс. Из внешних факторов учтены следующие: температура заливки и формы; материал формы. Поскольку число факторов, влияющих на получение отливки крайне велико, во внима-

ние были взяты лишь те, на которые можно быстро повлиять корректировкой технологического процесса.

В качестве оперативной проверки спроектированной литниковой системы проведено моделирование процесса литья и кристаллизации отливки при помощи программного пакета LVMFlow.

В ходе работы были рассмотрены самые значимые конструктивные и технологические параметры, которые позволяют получить сложную качественную отливку. Также учтены возможности применения дополнительных технологических моментов для повышения качества получаемой продукции.

УДК 621.74.04

І.С. Якуб, О.С. Сергієнко

Запорізький національний технічний університет, Запоріжжя

ВІБРО-ВАКУУМУВАННЯ ГІПСОВИХ ФОРМ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ХУДОЖНІХ ВИЛИВКІВ ПРИ ЛИТТІ ЗА ВИТОПЛЮВАНИМИ МОДЕЛЯМИ

Лиття за витоплюваними моделями широко застосовується при виготовленні тонкостінних складних по конфігурації виливків, є найбільш поширеним методом отримання дрібних художніх виливків. Метод дозволяє максимально наблизити виливок до готової деталі, різко знижує трудомісткість і вартість виготовлення виробів, зменшує витрати металу і енергетичних ресурсів. Лиття за витоплюваними моделями забезпечує отримання виливків з різних сплавів масою 0,02-15 кг і з товщиною стінки 0,5-5 мм [1].

Удосконалена технологія лиття складається з наступних етапів:

Виготовлення еталон-моделі. Матеріал для виготовлення еталона повинен мати однакові властивості протягом усього процесу та зберігати свою форму в процесі вулканізації гумових прес-форм, хімічно не взаємодіяти з гумою.

Параметр шорсткості поверхні має бути не нижче необхідного для одержування за нього виливків: раковини, подряпини, вм'ятини на його поверхні неприпустимі.

Розміри еталона повинні перевищувати розміри готової моделі на 5-6% з урахуванням загальної усадки металу при кристалізації виливків і припусків на механічну обробку.

Виготовлення гумової прес-форми. Гумові прес-форми можуть бути розрізні і роз'ємні, гуми для вулканізації, і двокомпонентні (самотвердіючі).

Виготовлення воскової моделі. Воскову модель отримують шляхом запресування воску в гумову прес-форму в інжекційній установці. Перед запресовкою форму очищають і тонким шаром змащують силіконовим мастилом ПМС-1000. Запресовку модельного складу виконують при температурі 68-77 °С і тиску 0,08-0,12 МПа. Отримані воскові моделі припаюють на восковий стояк у вигляді «ялинки». Модельний блок знежирюють і просушують.

Виготовлення ливарної форми. Ливарні форми виготовляють з гіпсової формувальної суміші на вібровакуумній установці. У дистильовану воду засипають суху суміш (0,38 - 0,4 л води на 1 кг суміші). Ретельно, повільно перемішують. У металеву опоку встановлюють модельний блок. Металеву опоку заповнюють формувальною сумішшю і вакуумують протягом 2-3 хв. при розрідженні 0,01 МПа. Протягом 30-60 хв. гіпсова формувальна суміш твердіє. Через 2 години ливарну форму сушать і витримують в сушильній шафі 1-3 години при температурі 90-100 °С, виплавляючи при цьому модельний склад, який збирають у піддон. Після виплавки модельного складу ливарні форми поміщають в муфельну піч, для розжарювання при температурі 750-800 °С протягом 6-13 годин в залежності від розмірів ливарної форми.

Заповнення форм. Прожарені ливарні форми заливають розплавленим металом на вакуумних ливарних машинах донного розливу. Лиття металу проходить при розрідженні 0,05 МПа. Температура для заливки металу залежить від розміру виливків і товщини їх стінок. Технологічні параметри підбираються для кожного виливка з урахуванням рекомендацій постачальників формувальних сумішей і сплавів [2].

Завдяки перевагам даної технології були отримані латунні виливки «Чобітки». Ці виливки можливо отримувати іншими методами, але це підвищить вірогідність появи дефектів. Вібровакуумне формування із застосуванням гіпсової формувальної суміші дозволило скоротити час виготовлення виробів. Завдяки розрідженню з гіпсової формувальної суміші при заливці в опоку видаляються повітряні бульбашки. При заливці металу за рахунок розрідження видаляються гази зі стінок гарячої ливарної форми. Завдяки цим технологічним особливостям отримано виливки без газових раковин і поверхневих дефектів, що скоротило час фінішних операцій. Однак, цей спосіб дозволяє одержувати виливки з металів та сплавів, температура заливки яких не перевищує 1100 °С.

Список літератури

- 1.Лившиц В.Б. Художественное лите. Ювелирные и декоративне изделия: са-
моучитель / В.Б. Лившиц.-М. : АСТ: Астрель, 2010.- 224с.
- 2.Урвачев В.П. Ювелирное и художественное литье по выплавляемым моделям
сплавов меди / В.П.Урвачев, В.В.Кочетков, Н.Б.Горина – Челябинск: Металлургия,
1991. – 168 с.

УДК 621.745.55

Ямшинський М.М., Федоров Г.Є.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ

ОКАЛИНОСТІЙКІСТЬ ЖАРОСТІЙКИХ СТАЛЕЙ ЗАЛЕЖНО ВІД ВМІСТУ В НИХ ВУГЛЕЦЮ ТА ТИТАНУ

Опір жаростійкої сталі газовій корозії в умовах високих температур та агресив-
них середовищ визначається концентрацією в твердому розчині легувальних елемен-
тів, здатних утворювати під час окиснення на поверхні виробу захисний оксидний
шар. На жаль, вплив одних і тих же елементів на окалиностійкість сталей різного хі-
мічного складу неоднаковий і дуже залежить від вмісту в них інших елементів та їх
властивостей. Загальновідомо, що основний елемент будь-якої сталі – вуглець –
справляє суттєвий вплив не тільки на ливарні та механічні властивості, але й на спе-
ціальні. Шкідливий вплив вуглецю на окалиностійкість жаростійких сталей можна ча-
стково або повністю нейтралізувати додаванням у розплав активних карбідоутворю-
вальних елементів, які мають вищу спорідненість до вуглецю, ніж хром. Найперспек-
тивнішим для цього хімічним елементом є титан. Він утворює міцний і дуже тугоплав-
кий карбід TiC.

Крім того, здатність титану утворювати тугоплавкі сполуки (карбіди, нітриди,
карбонітриди) використовують для подрібнення первинного зерна високолегованих
сталей, внаслідок чого суттєво підвищуються їх механічні властивості. Отже, визна-
чення оптимальної концентрації титану за відомим вмістом вуглецю для досягнення
високої окалиностійкості хромоалюмінієвих сталей є також актуальним завданням.

Досліджено зміну окалиностійкості рекомендованих для роботи в екстремальних умовах хромоалюмінієвих сталей залежно від вмісту вуглецю та титану, при цьому максимально зберігали сталість вмісту інших елементів (марганцю, кремнію, фосфору та сірки). Випробовуванню піддавали зразки діаметром 10 мм і довжиною 20 мм за температур 1200 та 1300 °C протягом 100 й 500 год. Оцінку окалиностійкості здійснювали за збільшенням маси зразків за час випробовувань.

Установлено, що із збільшенням вмісту вуглецю в сталях з різним вмістом хрому та алюмінію їх окалиностійкість знижується, тобто витрати металу на утворення окалини підвищуються.

З підвищенням до 0,45% вуглецю на поверхні зразків утворюється порувата окалина, яка легко відшаровується, особливо в місцях виходу на поверхню карбідних груп, які порушують однорідність окалини, зменшують міцність її зчеплення з поверхнею металу та знижують рівень її захисних властивостей, не дивлячись на деяке підвищення оксидів хрому.

Досліджено спільний вплив вуглецю в діапазоні концентрацій від 0,07 до 0,84% та титану – до 1,37% на окалиностійкість хромоалюмінієвих сталей з вмістом 24,8...26,2% хрому й 2,84...3,30% алюмінію.

Установлено, що титан у межах 0,15...0,60% позитивно впливає на окалиностійкість сталей з різним вмістом вуглецю за схемою: чим вищий в сталі вміст вуглецю, тим вищу концентрацію титану слід використовувати для покращання окалиностійкості. Сталь з вмістом 0,07...0,09% вуглецю для збереження задовільної окалиностійкості має вміщувати 0,10...0,20% титану, а сталь з вмістом 0,77...0,84% вуглецю набуває максимальної окалиностійкості за вмісту 0,4...0,8% титану.

Установлено, що додавання титану в хромоалюмінієві сталі суттєво змінює склад оксидних плівок, а отже, впливає позитивно чи негативно на їх окалиностійкість залежно від його вмісту в металі.

Порівняннями змін оксидів на поверхні виробів, виготовлених із сталі Х25Ю3Л з різним вмістом вуглецю, залежно від вмісту в ній титану установлено, що останній прямо або опосередковано справляє суттєвий вплив на зміну співвідношення оксидів в захисній плівці.

Усі ці зміни сприяють деякому підвищенню окалиностійкості сталі або її стабілізації, незважаючи на суттєве зменшення в плівці оксидів алюмінію.

Висновок.

Для забезпечення високої окислостійкості сталей з високим вмістом хрому та алюмінію вміст титану має бути в межах 0,25...0,60% за вмісту вуглецю 0,25...0,30% або відповідати співвідношенню: $\% \text{Ti} = (1,3 \dots 1,5) \cdot \% \text{C}$.

Наведені співвідношення цих елементів можна використовувати для визначення оптимального вмісту титану в жаростійкій хромоалюмінієвій сталі залежно від вмісту вуглецю, визначеного за першим аналізом її хімічного складу, коли розплав знаходиться ще в плавильному агрегаті.

УДК 621.74

В.В. Ясюков, Т.В. Лысенко, А.А. Бондарь, Е.А. Пархоменко

Одесский национальный политехнический университет, Одесса

ВЛИЯНИЕ СЕРЫ НА СВОЙСТВА СТАЛЬНЫХ ОТЛИВОК

Повышение эксплуатационной надежности стального литья возможно при условии удаления из металла вредных примесей. В значительной степени качество литья определяется низким содержанием серы в отливках. Сера неограниченно растворима в жидком железе и весьма ограничено в α - и γ -железе. Поэтому любое ее количество образует с железом сульфид железа FeS , входящий в состав эвтектики $\text{Fe} + \text{FeS}$ и образующийся при температуре 988°C . Эта легкоплавкая и хрупкая эвтектика располагается, как правило, по границам зерен, способствуя красноломкости, что влечет за собой снижение прочности, пластичности и вязкости отливок. Обычно сернистая эвтектика, присутствующая в небольшом количестве коалесцирует [1], т.е. феррит эвтектики объединяется с ферритом основной массы металла, а соединение FeS располагается вокруг зерен. повышенное содержание серы задерживает рост $\sigma_{\text{в}}$ и δ в районе температур солидуса, расширяет температурную область низких свойств металла и тем самым способствует образованию горячих трещин.

Сера ухудшает жидкотекучесть стали.

Вредное влияние серы сказывается, когда она находится в виде тугоплавких и малорастворимых включений MnS по реакции $\text{FeS} + \text{Mn} \rightarrow \text{MnS} + \text{Fe}$. Сульфид марганца более пластичен, плавится при температуре 1620°C , образует обособленные округлые или строчные включения и менее вреден для механических свойств. Вред-

ное влияние сульфидов усиливается, если сера находится в виде еще более тугоплавких и менее растворимых сульфидов Al_2S_3 и ZrS_2 [2].

Сера вызывает развитие зональной ликвации в отливках.

Одной из основных проблем литейщиков является использование устаревших нормативных документов. Например, содержание серы в конструкционных нелегированных сталях по ГОСТ 977-88 колеблется в пределах 0,050 – 0,045 % для кислой плавки. Для сравнения [3]: низкоуглеродистые стали (0,13 – 0,18 % С) по стандарту ASTM A131 (США) допускают содержание серы от 0,026 до 0,032 %; среднеуглеродистые стали (0,53 – 0,55 % С) по стандарту ASTM BSE содержат 0,008 до 0,011 % серы; стандарт SAE 1006 (США) регламентирует содержание серы 0,013 до 0,015 %.

Таким образом, первым условием борьбы за качество литья является пересмотр наших стандартов (ДСТУ) в сторону ужесточения содержания вредных примесей. Вместе с этим требуют пересмотра сроки действия стандартов, многие из которых истекли в конце прошлого века. Кадровый потенциал для этого есть: подразделения НАНУ, ВУЗы, производственные коллективы разных форм собственности.

Дальнейшее развитие способов обессеривания может заключаться в следующем:

- интенсификация процесса удаления неметаллических включений за счет активного кипения ванны металла;
- развитие различных форм окислительного процесса с целью обеспечения благоприятной формы и расположения сульфидов;
- контроль процесса раскисления с использованием дополнительного модифицирования РЗМ или ЩЗМ;
- вакуумирование металла.

Перечисленные мероприятия не являются исчерпывающими – с учетом особенностей производства должны быть разработаны технологические и организационные мероприятия, обеспечивающие их выполнение.

Литература

1. Гуляев А. П. Металловедение / А. П. Гуляев. – М: Металлургия, 1986. – 544 с.
2. Нехендзи Ю. А. Стальное литьё / Ю. А. Нехендзи. – М: Металлургиздат, 1948. – 766 с.

3. Ясюков В. В. Газы и неметаллические включения в стальных отливках / В. В. Ясюков, Т. В. Лысенко, Е. А. Пархоменко. // Металл и литьё Украины. – 2017. – №11-12. – С. 19–24.

УДК 621.74.04:621.763

В.В. Ясюков, Т.В. Лысенко, Л.И. Солоненко

Одесский национальный политехнический институт, Одесса

ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ ОТЛИВОК ЗА СЧЕТ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТИ

Качество поверхности отливок, характеризующееся величиной макро- и микронеровностей, а также наличием пригара оценивается неоднозначно, поскольку отливка - это заготовка, подвергаемая, в основном, механической обработке. Поэтому высокие значения R_a и R_z (ГОСТ 2789-93) зачастую не являются браковочным признаком. В то же время эти характеристики, а также пригар оказывают непосредственное влияние на эксплуатационные свойства отливок: механические характеристики, коррозионная стойкость, теплопроводность, гидравлические параметры. Также пригар влияет на технологические свойства отливок (обрабатываемость, наплавка, эмалирование). Влияние качества поверхности на механические свойства при знакопеременных нагрузках, особенно велико и может достигать 40-50%. При этом, чем выше σ_B стали, тем она чувствительней к σ_R .

Если контактные напряжения при шероховатой поверхности возрастают на 20%, то долговечность литой детали сокращается в 5 раз. Таким образом, шероховатость поверхности приводит к формированию концентраторов напряжений и снижению эксплуатационных характеристик литья.

Жаростойкость отливок (например, печная арматура) также зависит от состояния поверхности: наличие включений фаялита и других легкоплавких соединений оксидов железа приводит к значительной потере массы при эксплуатации. КПД литых деталей гидроаппаратуры – лопастных колес насосов, лопастей гребных винтов, лопастей низконапорных гидротурбин электростанций, статоров и роторов турбобу-

ров – зависит от шероховатости рабочих поверхностей; изменяется также срок службы агрегатов.

Качество литой поверхности оказывает влияние на мехобработку литья: величину припусков, выбор режимов резания, материала режущего инструмента. Характер поверхности оказывает влияние на качество эмалирования (нефтехимическое и сантехническое оборудование). Наплавка отливок релитом либо сормайтот также зависит от чистоты поверхности. Поэтому изучение явлений на границе раздела металл-форма находится под постоянным вниманием литейщиков. Различные толкования и отсутствие единой общепринятой теории формирования поверхности требуют дальнейшего развития теории и практики получения качественной поверхности отливок. Это должно сводиться к разработке методов, отсутствия или сведения к минимуму взаимодействия жидкого металла с огнеупорными материалами разовой формы и стержня. Помимо традиционных методов следует использовать новые технологические процессы применения негасотворных форм, позволяющие получить гладкие поверхности без пригара.

Авторы относят к ним следующие:

1. Использование низкотемпературных литейных форм (НТФ), существенно улучшающих структуру сплава из-за ускорения процессов затвердевания и кристаллизации, повышающих геометрическую точность отливок; экономии формовочных материалов; улучшения экологии литейного цеха.
2. Заливка сплава в разовую керамизированную форму. Формы негасотворны, позволяют получить поверхности 5-6 класса (ГОСТ 2789-95).
3. Технология получения композиционных отливок, заключающаяся в пропитке матричным металлом пористых металлокерамических оболочек, формирующих рабочую поверхность отливок, обеспечивающих низкую шероховатость поверхности, управление в широком диапазоне структурой поверхностного слоя и физико-механическими свойствами.

УДК 621.74

В.В. Ясюков, М.П. Тур, А.И. Гофман

Одесский Национальный Политехнический Университет, Одесса

ФОРМИРОВАНИЕ КАЧЕСТВЕННЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ ОТЛИВОК

Для образования диффузионной связи между элементами композиционных отливок (КО) следует обеспечить смачиваемость твердой заготовки жидким металлом, выдержку твердого элемента в контакте с жидким металлом с учётом скорости диффузии на границе контакта. Степень смачивания тем больше, чем выше взаимная растворимость элементов композиции или возможность образования интерметаллидов. Наличие на поверхностях элементов КО оксидных плёнок или других неметаллических включений уменьшает площадь контакта и создает непреодолимые препятствия диффузионным связям. При использовании гальванопластических оболочек из хрома связь металлического хрома с высокоуглеродистой сталью определяется хрупкостью осадка, наличием внутренних напряжений и плёнкой оксида, не смачиваемой железом (краевой угол смачивания $\theta = 124 - 126^\circ$). При дальнейшей эксплуатации работоспособность такого слоя снижается за счёт восходящей диффузии углерода при повышенных температурах, приводящей к формированию карбидов.

Возможность образования диффузионного соединения хрома с чугуном увеличивается при повышении температуры, увеличении времени выдержки жидкого металла в контакте с хромом, применении флюсов. Указанные мероприятия способствуют протеканию реакции восстановления углеродом металла оксида хрома. Диссоциация оксидов термодинамически возможна, если парциальное давление кислорода у поверхности металла меньше упругости диссоциации оксида при данной температуре.

В качестве защитных покрытий применяют синтетические боратные шлаки, легкоплавкие припои. Легкоплавкие припои создают на поверхности контакта жидкую прослойку, хорошо смачивающую твёрдое тело и уменьшающую величину внутренних напряжений в пограничном слое.

Основным критерием свариваемости является установившаяся контактная температура, которая определяется начальными и граничными параметрами системы и не зависит от химического состава компонентов КО. В некоторых случаях при

определённом соотношении толщин твёрдой заготовки и матричного металла приходится применять перепуск. Количественная оценка определяется механическими свойствами КО.

Особое внимание необходимо уделять газам, выделяющимся в зоне контакта и являющимся барьером на пути диффузии. Поэтому предпочтительным является использование негзотворных форм, например, керамизированных. Такие формы обеспечивают защиту поверхности от окисления, отсутствие газовыделения и сохранение размерной точности композиционных отливок.

**VI МІЖНАРОДНА
НАУКОВО-ПРАКТИЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ
МЕТАЛУРГІЯ 2018**

Boichenko S., Синегин Е.В., Бойченко Б.М., Молчанов Л.С., Хуторной Д.Ю. РЕЖИМЫ ПРОДУВКИ ФЛОКЕНОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ СТАЛЕЙ АРГОНОМ В ПРОМЕЖУТОЧНОМ КОВШЕ МНЛЗ	232
Байдуж Ю.В., Сігарьов Є.М., Доброгорський С.І. ШЛАКОВИЙ РЕЖИМ КОНВЕРТЕРНОЇ ПЛАВКИ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ПОЛІМІНЕРАЛЬНОГО ФЛЮСУ	234
Бойченко Б.М., Синегин Е.В., Молчанов Л.С., Boichenko S., Агаян Л.Г. ОБ УДАЛЕНИИ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ВКЛЮЧЕНИЙ ИЗ ЖИДКОЙ СТАЛИ В ПРОМКОВШЕ МАШИНЫ НЕПРЕРЫВНОГО ЛИТЬЯ ЗАГОТОВОК	236
Бочка В.В., Двоеглазова А.В., Сова А.В. ВЛИЯНИЕ ДОБАВКИ КОМПЛЕКСНОГО ФЛЮСА НА СВОЙСТВА И КАЧЕСТВО АГЛОМЕРАТА	239
Бочка В.В., Сова А.В., Двоеглазова А.В. МОЖЛИВОСТІ ОТРИМАННЯ СТАБІЛІЗОВАНОГО АГЛОМЕРАТУ	240
Василев Я.Д., Самокиш Д.М., Журавльова С.В. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ ХОЛОДНОЇ ШТАБОВОЇ ПРОКАТКИ З НАТЯГОМ	242
Гичёв Ю.А., Адаменко Д.С., Мацукевич М.Ю. ЭКОНОМИЯ ТОПЛИВА ПРИ ПУЛЬСАЦИОННО-АКУСТИЧЕСКОМ СЖИГАНИИ В ПАРОВОМ КОТЛЕ	244
Гичёв Ю.А., Мацукевич М.Ю. УМЕНЬШЕНИЕ ОБЪЕМА КОНВЕРТЕРНОГО ГАЗА ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ ЖЕЛЕЗОРУДНОГО СЫРЬЯ	246
Гичёв Ю.А., Ступак М.Ю., Мацукевич М.Ю. АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ДИССИПАЦИИ ПУЛЬСАЦИЙ ГАЗОВОГО ПОТОКА	249
Гичёв Ю.А., Ступак М.Ю., Мацукевич М.Ю. АНАЛИЗ ТЕПЛОВОГО БАЛАНСА РАЗОГРЕВА СТАЛЕРАЗЛИВОЧНЫХ КОВШЕЙ ПРИ ПУЛЬСАЦИОННО- РЕЗОНАНСОМ СЖИГАНИИ ТОПЛИВА	251
Гичёв Ю.А., Ступак М.Ю., Мацукевич М.Ю. АНАЛИЗ ТЕПЛОВЫХ БАЛАНСОВ ПРОЦЕССОВ СУШКИ СТАЛЕРАЗЛИВОЧНЫХ КОВШЕЙ ПРИ ПУЛЬСАЦИОННО-РЕЗОНАНСОМ СЖИГАНИИ ТОПЛИВА	253
Гичёв Ю.А., Ступак М.Ю., Мацукевич М.Ю. ОБОБЩЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ДИССИПАЦИИ ПУЛЬСАЦИЙ ГАЗОВОГО ПОТОКА	255

Гичёв Ю.А., Ступак М.Ю., Мацукевич М.Ю. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИССИПАЦИИ ПУЛЬСАЦИЙ ГАЗОВОГО ПОТОКА В СИСТЕМЕ ПУЛЬСАЦИОННО-РЕЗОНАНСНОГО СЖИГАНИЯ ТОПЛИВА	257
Глотка А.А., Овчинников А.В. ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ЖАРОПРОЧНЫХ ПОРОШКОВ В АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ	259
Гришин А.М., Зыкин Е.С. ВЛИЯНИЕ ДОБАВКИ $Fe_{мет.}$ НА УГЛЕРОДОТЕРМИЧЕСКОЕ ВОССАНОВЛЕНИЕ ОКСИДА ХРОМА	261
Гришин А.М., Иващенко В.П., Щеглова И.С., Дзюзюра Р.С. ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ГУБЧАТЫХ ЛИГАТУР С НИЗКИМ СОДЕРЖАНИЕМ УГЛЕРОДА	262
Гришин А.М. ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ УГЛЕРОДОТЕРМИЧЕСКОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ ХРОМИТА ЖЕЛЕЗА	263
Калинчак В.В., Черненко А.С., Куземко Р.Д. ОСУЩЕСТВЛЕНИЕ ГОРЕНИЯ УГОЛЬНОЙ ПЫЛИ ПРИ ФАКЕЛЬНОМ ТОРКРЕТИРОВАНИИ ФУТЕРОВКИ КИСЛОРОДНОГО КОНВЕРТЕРА	264
Кравцов С.В., Мешкова А.Г. ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНА УТИЛІЗАЦІЯ ШЛАМІВ ГАЛЬВАНІЧНОГО ВИРОБНИЦТВА	267
Лантух О.С., Молчанов Л.С., Синегін Є.В. ФІЗИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СПЛИВАННЯ НЕМЕТАЛЕВИХ ВКЛЮЧЕНЬ У СТАЛЕРОЗЛИВНИХ КОВШАХ ІЗ ВДОСКОНАЛЕНИМ ПРОФІЛЕМ ФУТЕРОВКИ	268
Маслов В.А., Трофимова Л.А., Дан Л.А. ДИНАМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ТЕРМОГРАФЕНИТА В ГРАВИТАЦИОННО-ПАДАЮЩЕМ СЛОЕ	271
Мельник С.Г., Кучеров В.И. ПОЛИРЕАГЕНТНАЯ КОВШЕВАЯ ОБРАБОТКА ВЫСОКОПРОЧНОЙ СТАЛИ ДЛЯ НОЖЕЙ НОЖНИЦ ХОЛОДНОЙ РЕЗКИ ПРОКАТА	273
Мельник С.Г., Петриченко Д.А., Тихонюк Л.С., Бондарь В.И., Лагошин А.В. УЛУЧШЕНИЕ ПЛАСТИЧНЫХ СВОЙСТВ СУДОВОЙ СТАЛИ МОДИФИЦИРОВАНИЕМ	274
Мельник С.Г., Троцан А.И., Курпас В.И., Тихонюк Л.С., Белов Б.Ф., Бродецкий И.Л. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОИЗВОДСТВА КОНВЕРТЕРНОЙ СТАЛИ С КОМПЛЕКСНЫМ РАСКИСЛЕНИЕМ	276
Мусіна А.О., Сігунов О.О., Кравченко Т.В., Гура А.О. РОЗРОБКА ГАЗОГІПСУ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТАЛІЧНОГО КРЕМНІЮ ТА ФЕРОСИЛІЦІЮ	278

Недбайло М.М., Сігарьов Є.М., Чубіна О.А. НАПРЯМКИ УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ГАРНІСАЖНОЇ ФУРМИ	281
Низяев К.Г., Брагінець Є.Ю. ПОРІВНЯНИЙ АНАЛІЗ РОБОТИ ВОГНЕТРИВКОЇ ФУТЕРОВКИ КОНВЕРТОРА ПАО «ДМК» В РІЗНІ ПЕРІОДИ КАМПАНІЇ	283
Нізяев К.Г., Чмиров А.О. ВПЛИВ ЗНОСУ ФУТЕРІВКИ НА ТЕХНОЛОГІЧНІ ПОКАЗНИКИ РОБОТИ КОНВЕРТОРІВ «ЕВРАЗ-ДМЗ»	284
Пантейков С.П., Семерунина Л.П., Пантейкова Е.С., Иогансон О.В. РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВ ДЛЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ПОДОГРЕВА ДОННОГО ДУТЬЯ ДО ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР И ЕЁ РЕГУЛИРОВАНИЯ	286
Перков О.Н., Кузьмичев В.М., Вакуленко И.А. СПЕЦИАЛЬНАЯ ТЕРМООБРАБОТКА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ КОЛЕС – КАК СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ИХ КОНСТРУКТИВНОЙ ПРОЧНОСТИ	288
Петров А.Ф., Головкин Л.А., Лихачев Ю.М., Ходотова Н.Е. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СТАНДАРТНЫХ МАРОК ФЕРРОМОЛИБДЕНА	290
Піптюк В.П., Кабаков Д.Ю., Красніков К.С., Греков С.В., Петров О.П., Андрієвський Г.О., Снігура І.Р. ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ПЛАВЛЕННЯ ТА ЗАСВОЄННЯ ТВЕРДИХ ДОБАВОК ЗАЛІЗО-ВУГЛЕЦЕВИМ РОЗПЛАВОМ	292
Пушкарьов Д.В., Стоянов А.Н., Нізяев К.Г., Синегін Є.В., Молчанов Л.С., Табатадзе З. ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИДАЛЕННЯ НЕМЕТАЛЕВИХ ВКЛЮЧЕНЬ ПРИ ПРОДУВЦІ СТАЛІ В КІВШІ НЕЙТРАЛЬНИМ ГАЗОМ	294
Семакова В.Б., Семаков В.В., Кибиш В.С., Харченко И.И. МОДЕЛИРОВАНИЕ РУДНЫХ НАГРУЗОК ПО РАДИУСУ ДОМЕННОЙ ПЕЧИ ПРИ ЗАГРУЗКЕ ЦИКЛОВ С РАЗДЕЛЬНЫМИ РУДНЫМИ ПОДАЧАМИ	295
Сигарев Е.Н., Кочмола Д.С., Чубин К.И. МОДЕЛИРОВАНИЕ ШЛАКОВОГО РЕЖИМА КОВШОВОГО РАФИНИРОВАНИЯ ПЕРЕДЕЛЬНОГО ЧУГУНА	297
Синегін Є.В., Молчанов Л.С., Мусунов Д.О., Журавльова С.В., Гіляк В.О., Мажура Д.В., Усманов А.Д., Черевань В.С. ФІЗИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЗАТЯГУВАННЯ АРГОНУ В КРИСТАЛІЗАТОР МНЛЗ ПРИ ПРОДУВЦІ ЧЕРЕЗ СТОПОР У ПРОМКОВШІ	299
Сігарьов Є.М., Кочмола Д.С., Сігарьов М.К., Кривцун І.В. ВПЛИВ ПОКРИВНОГО ШЛАКУ НА УМОВИ КОВШОВОГО РАФІНУВАННЯ РОЗПЛАВУ	301

Сігарьов Є.М., Чернятевич І.В., Литвинов Б.В. НАПРЯМКИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ КОІНЖЕКЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ДЕСУЛЬФУРАЦІЇ ЧАВУНУ	303
Сігарьов Є.М., Чубіна О.А., Похвалітий А.А. ВПЛИВ ГАЗОВИХ СТРУМЕНІВ З ДОДАТКОВИХ СОПЕЛ ГАРНІСАЖНОЇ ФУРМИ НА ГАЗОШЛАКОВИЙ ПОТІК	305
Снигура И.Р., Тогобицкая Д.Н. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУР ПЛАВЛЕНИЯ И КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ НА ОСНОВЕ ПАРАМЕТРОВ МЕЖАТОМНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ	307
Стоянов А.Н., Бойченко Б.М., Низяев К.Г., Молчанов Л.С., Бурбелко А. ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ СТАЛЕПЛАВИЛЬНЫХ ШЛАКОВ	309
Стоянов А.Н., Бойченко Б.М., Нізяєв К.Г., Синегін Є.В., Молчанов Л.С. ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРУ МАСООБМІННИХ ПРОЦЕСІВ НА МЕЖІ «ТВЕРДА–РІДКА» ФАЗИ НА ОСНОВІ ТЕОРІЇ ЕЛЕКТРОХІМІЧНОЇ ТА ФІЗИЧНОЇ МЕХАНІКИ СТАЛЕПЛАВИЛЬНИХ ПРОЦЕСІВ	311
Тараканов А.К. ВОЗМОЖНОСТИ ОСВОЕНИЯ ВНЕДОМЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА ЧУГУНА	314
Трегубенко Г.М., Трегубенко Г.В., Поляков Г.А., Підгорний С.М., Калінін В.Т. ТЕРМОДИНАМІЧНИЙ АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ НАСИЧЕННЯ АЛЮМІНІЄВОГО РОЗПЛАВУ ВОДНЕМ	316
Худяков А.Ю., Бойко М.Н., Полякова Н.В., Ващенко С.В., Баюл К.В. РАЗРАБОТКА КРИТЕРИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПОДГОТОВЛЕННОСТИ АГЛОМЕРАЦИОННЫХ ШИХТ К СПЕКАНИЮ	318
Чичкарев Е.А., Алексеева В.А. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ КОАГУЛЯЦИИ И УДАЛЕНИЯ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ВКЛЮЧЕНИЙ ПРИ ПРОДУВКЕ РАСПЛАВА ИНЕРТНЫМ ГАЗОМ В ПРОМЕЖУТОЧНОМ КОВШЕ МНЛЗ	320
Шарабура Т.А., Пинчук В.А. ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДОУГОЛЬНОГО ТОПЛИВА В ПРОМЫШЛЕННОСТИ	322
Шеремета Н.А., Бойченко Б.М., Нізяєв К.Г., Стоянов О.М., Молчанов Л.С., Синегін Є.В. ДОННИЙ БЛОК ДЛЯ ПРОДУВКИ РОЗПЛАВУ СУМІШШЮ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ГАЗІВ РІЗНОГО СКЛАДУ	324
Ягольник М.В. ОЦІНКА ВПЛИВУ ТЕХНОЛОГІЇ СУМІСНОГО ПОДРІБНЕННЯ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ВИКОРИСТАННЯ ЇХ В АГЛОМЕРАЦІЙНІЙ ШИХТІ	325

S. Boichenko¹, Е. В. Синегин², Б. М. Бойченко², Л. С. Молчанов², Д. Ю. Хуторной²

1 – Jansen AG. Steel Tubes, Switzerland

2 – Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепр

РЕЖИМЫ ПРОДУВКИ ФЛОКЕНОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ СТАЛЕЙ АРГОНОМ В ПРОМЕЖУТОЧНОМ КОВШЕ МНЛЗ

Ранее нами установлено [1], что источниками поступления водорода в жидкую сталь в промковше является не только влага в капиллярах, порах рабочего слоя футеровки на первых 4-5 плавках непрерывной серии, но и массопотоки водяных паров из частиц шлакообразующих материалов, неметаллических включений, шлаковой фазы, увлекаемых потоками стали вниз, поскольку над расплавами находится обычная воздушная атмосфера даже при наличии крышки ковша.

С учётом сказанного, в промышленности нами апробированы варианты технологии непрерывной разливки флокеночувствительной стали с подачей через дно промковша аргона при переменном его расходе и, отдельно, ступенчатой наводкой на зеркале металла высокоосновного шлака.

Задачу снижения содержания водорода в флокеночувствительной стали в промковше ниже 2 ppm, что обеспечивает её стойкость против образования флокенов, при продувке нейтральным газом решали следующим образом. В основу заложены найденные схема расположения продувочных блоков и их специальная конструкция [2].

Интенсивность подачи аргона I_{Ar} в промковше через донные пористые устройства должна выдерживаться максимальной на первой плавке непрерывной серии и уменьшаться по мере снижения приходной части материального баланса водорода в стали вследствие дообжига футеровки, составляющих шлака жидким металлом, и появления над ним аргонной прослойки, защищающей расплав от контакта с атмосферой.

После статистической обработки данных промышленного производства флокеночувствительных сталей в сталеплавильных цехах заводов «А» и «В», где оценены приходные и расходные статьи баланса водорода от плавки к плавке в серии, разработаны следующие рекомендации для определения интенсивности продувки аргоном в пузырьковом режиме сквозь пористые блоки I_{Ar} на первых плавках серии:

$$I_{Ar} = (7,1 \div 7,8) \sqrt{\frac{E}{\rho \cdot n \cdot a \times b \cdot V \cdot \tau}}, \text{ дм}^3/(\text{т} \cdot \text{мин}), \quad (1)$$

где $7,1 \div 7,8$ – удельный расход инертного газа при разливке первой плавки; E – ёмкость сталеразливочного ковша, т; ρ – плотность стали, т/м³; n – число рабочих ручьёв МНЛЗ; $a \times b$ – площадь сечения заготовок, м²; V – рабочая скорость вытягивания заготовок, м/мин; τ – длительность разливки от начала серии, мин.

А при разливке последующих плавов и до конца серии I_{Ar} сохраняется в пределах $3,2 \div 3,5$ дм³/(т·мин).

Прямая пропорциональность расхода аргона корню квадратному из соотношения массы плавки к массе фактически разлитого в серии металла вытекает из закона Сивертса, согласно которому содержание водорода в стали пропорционально корню квадратному из парциального давления водорода в газовой фазе, контактирующей с металлом. При продувке стали аргоном качество стали повышается, помимо рафинирования от водорода, также за счёт удаления пузырьками газа неметаллических включений, и предотвращается зарастание ними стаканов-дозаторов.

Во вспомогательном варианте задача решается за счёт того, что при непрерывной разливке с первой по пятую плавку в серии в промковш дополнительно вводят материал, который содержит обожжённые оксиды кальция и магния, из расчёта необходимой массы (CaO+MgO) по уравнению

$$G_{(CaO+MgO)} = \frac{35 \div 39}{\sqrt{N}}, \text{ кг/т}, \quad (2)$$

где $G_{(CaO+MgO)}$ – необходимая масса (CaO+MgO), кг на 1 т разливаемой стали; N – номер плавки в серии.

Уравнение (2) получено путём анализа типичной динамики поступления в сталь водорода в промковше в ходе промышленных серий разливки «плавка на плавку». Обратная пропорциональность необходимой массы оксидов кальция и магния корню квадратному из номера плавки в серии определена физико-химической закономерностью, согласно которой активность поглощённого шлаком водорода

$a_{(OH^-)} = k \sqrt{a_{(CaO+MgO)}}$, а водородопоглотительная способность основного шлака в

20-40 раз выше той же массы металла.

Снижение необходимой величины $G_{(CaO+MgO)}$, поглощающей водород, от первой плавки в серии до пятой обусловлено снижающимся поступлением водорода в сталь из таких же источников, что описаны в технологии предыдущего варианта. Излишний шлак, вобравший в себя водород, удаляли из проковша через канал в его торце в конце разливки каждой из пяти плавов.

Во вспомогательном варианте на всех плавках серии сталь в проковше продувается через пористые блоки согласно разработанной конструкции и схеме их расположения [2] с интенсивностью $3,2 \div 3,5 \text{ дм}^3/(\text{т} \cdot \text{мин})$.

Список литературы

1. *Бойченко С.Б.* Механизм и кинетика процессов, определяющих содержание водорода в стали в промежуточном ковше МНЛЗ / С.Б. Бойченко, Ю.С. Проїдак, Б.М. Бойченко // Процессы литья. – 2013. – №3. – С. 12-17.
2. *Boichenko S.* Симулирование продувки нейтральным газом непрерывнолитых сталей в промежуточном ковше / S. Boichenko, Ю.С. Проїдак, Б.М. Бойченко // IV Международная научно-практическая конференция «Металлургия 2015», 26-28 мая 2015 г., Запорожье. – С. 264-267.

УДК 669.184

Ю. В. Байдуж, Є. М. Сігарьов, С. І. Доброгорський

Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське

ШЛАКОВИЙ РЕЖИМ КОНВЕРТЕРНОЇ ПЛАВКИ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ПОЛІМІНЕРАЛЬНОГО ФЛЮСУ

Відносно кислі шлаки (основністю до 1,2) першого періоду продувки конвертерної ванни мають невелику в'язкість, здатні проникати вглиб вогнетривів футерівки вздовж міжзеренних меж та переводити MgO футерівки у мервиніт (3CaO-MgO-SiO_2). Захист футерівки у цей період може бути заснований на швидкому підвищенні вмісту оксиду магнію у шлаку шляхом присадки доломітизованого вапна, сирого доломіту, магнезиту, використанні спеціальних магнезіальних флюсів тощо.

Завданням дослідження було визначення технологічних переваг та впливу флюсу полімінерального (ФПМ) на кінетику розчинення вапна у початковий період продувки конвертерної ванни. Згідно із прийнятою схемою у дослідній серії плавок ФПМ присаджували до конвертерної ванни на 2-й та 5-й хвилині продувки із витратою у співвідношенні 1:(1,6-2,5) відповідно. Дуттьовий режим (витрата кисню та зміна положення кисневої фурми по ходу плавки) у дослідних плавках відповідав штатній технології.

За результатами досліджень закономірностей шлакоутворення у початковий період продувки конвертерної ванни при розосереджених у часі присадках полімінерального флюсу визначені технологічні переваги та недоліки його використання. Так, в умовах конвертування низькомарганцовистого чавуну присадка та швидке розчинення ФПМ, який містить 4-8% $\text{FeO}+\text{Fe}_2\text{O}_3$, 42-47% $\text{CaO}+\text{MgO}$ та 15-18% MgO , у тісному контакті із рідким шлаком поліпшує умови проникнення шлаку в пори вапна. За рахунок введення ФПМ забезпечується також швидке зростання у шлаку оксиду магнію (до 6-7%), що позитивно позначається на пригніченні процесу переходу MgO з футерівки до шлаку.

Встановлено, що максимальна ефективність використання ФПМ як флюсу, що сприяє прискореному шлакоутворенню та спінюванню шлаку, забезпечується при вмісті кремнію у чавунах менш ніж 0,35-0,45% та основності шлаку до 2,0. Питомі витрати вапна на 1 т $[\text{Si}]$ на 0,1 од. основності підвищилися на 8,79%, що підтверджує вплив складової SiO_2 з ФПМ. Присадка вугілля у періоди додавання ФПМ повинна бути обов'язковим елементом шлакового режиму. Це забезпечує зниження вмісту (Fe_2O_3) та підвищення здатності низькоосновного окисленого шлаку до спінювання, зменшує втрати заліза із виносом та сприяє підвищенню виходу рідкого металу.

Ефективність використання ФПМ підвищується із зменшенням вмісту кремнію та марганцю у переробному чавуні. Введення ФПМ призводить до незначного зниження ступеня видалення фосфору та підвищення вмісту останнього у металі наприкінці продувки (рис. 1, а). Залежність зростання вмісту $[\text{P}]$ від питомої витрати ФПМ ($Q_{\text{ФПМ}}$) представлена у вигляді

$$[\text{P}]_{\text{к}} = 0,0019 \cdot Q_{\text{ФПМ}} + 0,0115. \quad (1)$$

Негативний вплив ФПМ підсилюється при зростанні вмісту кремнезему у шлаку більш ніж 30% в результаті укрупнення кремнекисневих аніонів. Останнє викликає закономірне погіршення умов десульфурзації металу (рис. 1, б).

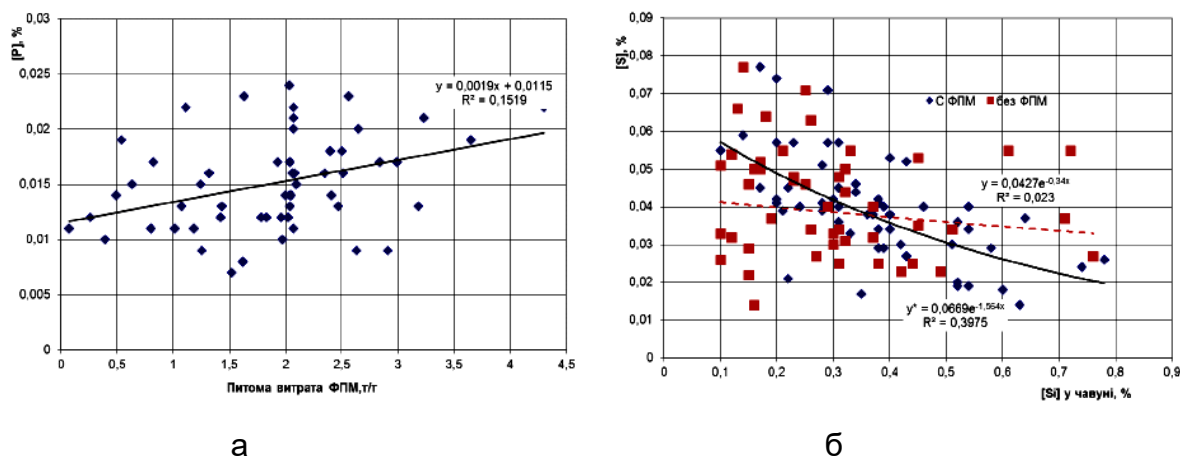


Рис. 1 – Залежність вмісту фосфору (а) та сірки (б) в металі на випуску з конвертера від питомої витрати ФПМ та вмісту [Si] у чавуні

Присадку ФПМ у початковий період конвертерної плавки доцільно проводити розосереджено, у два-три прийоми, з врахуванням початкового вмісту кремнію у чавуні та типу вапна з метою попередження надмірного підвищення в'язкості шлаку та погіршення показників десульфурації та дефосфорації розплаву (рис. 1).

УДК 669.14.018.8

Б. М. Бойченко¹, Е. В. Синегин¹, Л. С. Молчанов¹, S. Boichenko², Л. Г. Агаян¹

1 – Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепр

2 – Jansen AG. Steel Tubes, Switzerland

ОБ УДАЛЕНИИ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ВКЛЮЧЕНИЙ ИЗ ЖИДКОЙ СТАЛИ В ПРОМКОВШЕ МАШИНЫ НЕПРЕРЫВНОГО ЛИТЬЯ ЗАГОТОВОК

Гидродинамику металла изучили на прозрачной модели промковша ёмкостью 32 т по методике, описанной в работе [1]. Рассмотрели возможности очищения жидкой стали от оксидов с помощью распространённой на практике перегородки с тремя рядами фильтрационных отверстий, устанавливаемой между приёмной и разливочной секциями ковша.

Остаточное содержание неметаллических включений в приёмной секции можно найти, рассматривая её как ячейку идеального смешения. Для стационарного состояния на основании расчёта материального баланса приёмной секции получено [2,

3] уравнение, определяющее остаточное содержание неметаллических включений на выходе из неё:

$$\frac{\varphi_{\text{вых}}}{\varphi_{\text{вх}}} = \frac{1}{1 + \frac{W \cdot \rho \cdot S}{R}}, \quad (1)$$

где $\varphi_{\text{вых}}$ – объёмная доля неметаллических включений на выходе; $\varphi_{\text{вх}}$ – объёмная доля неметаллических включений на входе; W – скорость всплывания неметаллических включений, м/с; ρ – плотность стали, кг/м³; S – площадь поперечного сечения вблизи раздела металл-шлак, м²; R – массовая скорость разливки, кг/с.

Разливочную секцию можно приближённо рассматривать как аппарат идеального вытеснения вследствие гораздо меньшего развития турбулентности, чем в приёмной секции. На основании анализа материального баланса разливочной секции для стационарных условий получено уравнение, позволяющее проследить изменение содержания неметаллических включений по длине секции и на выходе из промковша:

$$\frac{\varphi_{\text{вых}}}{\varphi_{\text{вх}}} = e^{-\frac{W}{V_{\text{мет}}} \cdot \frac{x}{y}}, \quad (2)$$

где $V_{\text{мет}}$ – скорость потока металла (в пересчёте на натуру), м/с; x – длина зоны идеального вытеснения, м; y – высота поперечного сечения прямого потока, м.

При анализе результатов гидравлического моделирования можно учитывать, что расход жидкого металла через область прямого течения больше массовой скорости разливки, т.е. кратность рециркуляции довольно велика. Поэтому реальная степень рафинирования может быть выше, чем рассчитываемая на основе простейшей модели идеального вытеснения. Относительное остаточное содержание неметаллических включений для разливочной секции промковша с учётом рециркуляции рассчитывается по уравнению:

$$\frac{\varphi_{\text{вых}}}{\varphi_{\text{вх}}} = \frac{1}{\left(\frac{1}{E} - 1\right) \frac{\rho \cdot V_{\text{мет}} \cdot b \cdot y}{R} + 1}, \quad (3)$$

где b – средняя ширина промковша в области прямого потока,

$$E = e^{-\frac{W}{V_{\text{мет}}} \cdot \frac{x}{y}}.$$

При значительно развитии рециркуляции степень рафинирования заметно увеличивается. Например, при $y=0,64\text{ м}$, $x=1,4\text{ м}$, $b=0,8\text{ м}$, $v=0,04\text{ м/с}$, $R=50\text{ кг/с}$, $W=0,001\text{ м/с}$ остаточное содержание неметаллических включений составляет 94,7% от исходного содержания.

Снижение загрязнённости металла оксидными неметаллическими включениями, оцениваемое по снижению общего содержания кислорода, лежит в пределах $0,003/0,0053-0,036/0,0042=0,57-0,86$ от исходного (в стальковше), что вполне согласуется с расчётом остаточного содержания неметаллических включений (с учётом рафинирования в приёмной секции, для которой $\varphi_{\text{вых}}/\varphi_{\text{вх}}=0,88$).

Таким образом, рациональное распределение затопленных струй и методов управления процессами вихреобразования с помощью фильтрационных перегородок в разливочных камерах промежуточного ковша по праву является основным средством воздействия на удаление неметаллических включений.

Но к его недостаткам следует отнести высокие материальные и энергетические затраты на изготовление дополнительных конструктивных элементов, их сравнительную недолговечность и возможность загрязнения разливаемой стали экзогенными неметаллическими включениями. Установлено, что более дешёвой и менее загрязняющей металл технологией является организация гидродинамики металла нейтральным газом, подаваемым в определённых точках рабочего пространства промковша.

Список литературы

1. Бойченко С.Б. Исследование не модели поведения шлака при продувке стали в промежуточном ковше МНЛЗ аргоном для удаления водорода // III Международная научно-практическая конференция «Металлургия 2014», 27-29 мая 2014 г., Запорожье. – С. 292-293.
2. Мызникова Б.И. Свободная конвекция в расплавленных металлах при кристаллизации / Б.И. Мызникова, Е.Л. Тарунин // В кн. «Математические методы в исследовании процессов специальной электрометаллургии». – К., 1976. – С. 129.
3. Огурцов А.П. Тепломассообменные процессы финишных операций обработки стали на МНЛЗ / А.П. Огурцов, Ф.В. Недопекин, А.В. Гресс, И.А. Павлюченков // Днепродзержинск. – Изд. ДГТУ. – 2007. – 301 с.

УДК 669.162.

В. В. Бочка, А. В. Двоглазова, А. В. Сова

Национальная металлургическая академия Украины, Днепр

ВЛИЯНИЕ ДОБАВКИ КОМПЛЕКСНОГО ФЛЮСА НА СВОЙСТВА И КАЧЕСТВО АГЛОМЕРАТА

Для современных металлургических предприятий актуальной остается задача повышения производительности доменных печей при снижении удельного расхода дорогостоящего кокса. Как известно, одним из путей решения данной задачи является улучшение качества окускованого сырья.

В работах [1, 2] было установлено, что улучшить качество получаемого окускованого сырья можно за счёт введения в шихту одно- и двухкальцевых ферритов. Добавка ферритов в агломерационную шихту возможна за счёт применения комплексных флюсов. Однако применение комплексных флюсов при производстве агломерата ограничивается недостаточной эффективностью существующих технологий производства, дороговизной и необходимостью установки дополнительного оборудования.

В связи с этим, в НМетАУ [3], был разработан способ получения комплексного флюса, который совмещает в себе процессы обжига известняка и получения ферритных спёков на конвейерной машине. Сущность способа заключается в том, что на предварительно увлажненные гранулы известняка крупностью 3 – 10 мм накатывается железорудный материал, затем к полученным комбинированным гранулам добавляется твёрдое топливо крупностью 0 – 5 мм, в количестве 8-9% сверх массы шихты. Полученная шихта спекается на конвейерной машине по агломерационной технологии. Основность полученного продукта составляет 10,5 ед. Комплексный флюс, полученный по данной технологии, содержит 23,0% железа, 16,5% закиси железа и до 42% СаО активного.

Для проведения исследования по влиянию комплексного флюса на показатели спекания агломерата были использованы такие шихтовых материалов: железная руда, железорудный концентрат, коксовая мелочь и комплексный флюс крупностью 0 - 3 мм. Шихта рассчитывалась на получение агломерата основностью 1,1 ед. Коли-

чество комплексного флюса в шихте составляло 18%. Время спекания агломерата с использованием комплексного флюса составляло 8,5 мин. После спекания агломерата с использованием комплексного флюса полученные показатели сравнивались с базовым спеканием с использованием чистого известняка. В результате сравнения было установлено: при замене чистого известняка комплексным флюсом выход годного увеличился на 8,37%, индекс на удар увеличился на 2,96%, а удельная производительность - на 16,02%.

Список литературы

1. Способ упрочнения агломерата. Авторское свидетельство СССР, №169130 С18а 1/10// Г.Г. Ефименко, Д.А. Ковалёв// Оpubл. от 12.04.1963 Бюл. № 18
2. Ефименко Г.Г. Использования ферритных смесей в агломерационной шихте.//Г.Г. Ефименко, Д.А. Ковалёв, А.И. Каракаш и др. // Металлургия и коксохимия – 1971. - №24. – С. 3-6.
3. Бочка В.В. Выбор рациональных параметров процесса спекания комплексного флюса / В.В. Бочка, А.В. Двоєглазова, А.В. Сова. // Металлургическая и горно-рудная промышленность. – 2017. – №2. – С. 6–9.

УДК 669.162

В. В. Бочка, А. В. Сова, А. В. Двоєглазова

Національна металургійна академія України, Дніпро

МОЖЛИВОСТІ ОТРИМАННЯ СТАБІЛІЗОВАНОГО АГЛОМЕРАТУ

Агломерат являє собою структурно-неоднорідний матеріал зі значною кількістю мінералів, які утворюють сполуки, що відрізняються за своїми фізичними властивостями. [1] Він складається із численних згустків міцної речовини розміром 3-30 мм, названих блоками, та зв'язуючих речовин переважно зі склоподібних фаз. Між згустками розташовані великі пори неправильної форми. [2]

Наявність в структурі агломерату крихких складових призводить до появи та розвитку внутрішніх напружень у кусках під дією зовнішніх механічних, теплових та фізико-хімічних навантажень. [3] Це сприяє руйнуванню матеріалу з утворенням зна-

чної кількості дріб'язку під час зберігання, транспортування, завантаження та використання в доменній печі, що негативно впливає на умови її роботи.

Неоднорідність спеченого продукту висуває потребу виділяти з нього найбільш міцні складові, з метою отримання агломерату, стабілізованого за крупністю та міцністю. Цього результату можна досягти шляхом поєднання роботи в одному пристрої для механічної обробки декількох типів навантаження: ударних, розколювання, стирання та роздавлювання.

Одним з найбільш ефективних пристроїв для механічної обробки та стабілізації агломерату за крупністю і міцністю можна вважати барабан-стабілізатор, робочий простір якого має три характерні зони з різним механізмом руйнування. Механічна обробка спеченця в пристрої даної конструкції здійснюється при взаємодії у ньому кусків різної форми та крупності, що рухаються за своїми траєкторіями.

Математичне моделювання поведінки агломерату в пристрої барабанного типу, дозволило визначити вплив технологічних і конструкційних параметрів роботи барабана на величину і вид енергетичних навантажень на матеріал.

Моделльні розрахунки показали, що створення робочих зон з різним механізмом навантаження можливе завдяки зміні кількості та ширини полиць в барабані. Ці фактори впливають на інтенсивність руху матеріалу в пристрої, змінюючи кількість матеріалу, який рухається у водоспадному режимі та підіймаючи його на висоту, більшу ніж при падінні зі стінок.

Максимальна кількість полиць найбільшої ширини з боку завантажувальної лійки призведе до значних ударних навантажень на агломерат, що дозволить реалізувати найсильніші внутрішні напруження в кусках та призведе до активного розвитку найбільших тріщин. Зменшення кількості та ширини полиць у другій зоні призведе до стабілізуючого ефекту з руйнуванням кусків енергіями удару, стирання та розколювання по найбільшим тріщинам і порам. Подальше зменшення кількості та ширини полиць в третій зоні дозволить більшій частині агломерату рухатися каскадним режимом, з переважною дією енергій стирання та розколювання, завдяки чому буде відбуватися видалення гострих виступів і надання кускам кулястої форми. Це дозволить провести подальший ефективний відсів дріб'язку.

В запропонованому пристрої створюються умови отримання стабілізованого за крупністю та міцністю агломерат, використання якого значно покращить умови роботи та техніко-економічні показники доменних печей.

Список литературы

1. Ковалев Д.А., Теоретические основы производства окускованного сырья: учебное пособие для высших учебных заведений / Д.А. Ковалёв, Н.Д. Ванюкова, В.П. Ива-

щенко, Б.П. Крикунов, М.В. Ягольник, М.Н. Бойко – НМетАУ. – Днепропетровск: ИМА-пресс. – 2011. – 476 с.

2. Вегман *Е.Ф.* Некоторые итоги исследования блочной текстуры железорудного агломерата / Вегман Е.Ф., Крахт Л.Н. // Изв. вузов. Черная металлургия. – 1983. - № 9. – С. 11-18.

3. Бочка *В.В.* Влияние предварительной механической обработки агломерата на газопроницаемость столба шихты в доменной печи / В.В. Бочка, Р.А. Куприков, С.Е. Сулименко, Е.Е. Вылупко // Металлургическая и горнорудная промышленность. 2012. № 3. С. 8–11.

УДК 669

Я. Д. Василев, Д. М. Самокиш, С. В. Журавльова

Національна металургійна академія України, м. Дніпро

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ ХОЛОДНОЇ ШТАБОВОЇ ПРОКАТКИ З НАТЯГОМ

Експериментальних даних про енергосилові параметри і потужність при холодній прокатці штаб з різним рівнем і співвідношенням відносних натягів вкрай мало. Опубліковані дані з цього питання мають фрагментарний характер і отримані давно, без використання сучасної тензометричної апаратури і засобів вимірювання. В промислових умовах дослідження процесу холодної прокатки з різним співвідношенням натягу пов'язано з великими технологічними труднощами, тому створення лабораторної установки актуально. Експериментальні дані про параметри процесу холодної прокатки з різним рівнем і з різними співвідношеннями відносних натягів мають важливе теоретичне значення і велику практичну цінність. Вони дозволяють переглянути діючі режими деформації на промислових станах з метою їх удосконалення для підвищення енергоефективності процесу холодної прокатки штаб.

Для дослідження процесу холодної штабової прокатки з різним співвідношенням натягів на базі лабораторного стану 210 кафедри ОМТ НМетАУ, оснащеного валами з довжиною бочки 44,5 мм, була спроектована і створена експериментальна установка (рис. 1).

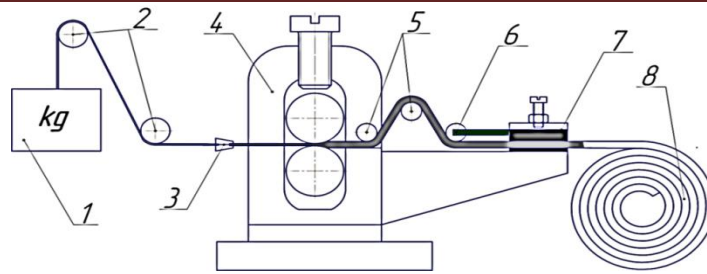


Рис. 1 – Загальний вигляд експериментальної установки для дослідження процесу холодної штабової прокатки з натягом:

- 1 – вантаж для створення переднього натягу; 2 – нерухомі блоки; 3 – захват, що забезпечує фіксацію переднього кінця штаби; 4 – прокатний стан 210;
5 – холості ролики для перегину штаби; 6 – консольний ролик, що вимірює силу заднього натягу; 7 – гальмівний пристрій з накладками «феродо»;
8 – розмотувач штаби.

Прокатували штаби з відпаленої сталі 08кп товщиною 0,5 мм і 0,8 мм шириною 20 мм без натягу, а також з різним заднім і переднім відносними натягами з швидкістю обертання валків 0,148 м/с без технологічного мастила. Вимірювали геометричні параметри, силу прокатки, випередження, момент, а також силу переднього і заднього натягу штаби. На рис. 2 наведено порівняння експериментальних даних з розрахунковими для сили прокатки при прокатці штаб 0,5 мм (відносний обтиск 0,3) з одним переднім (рис. 2, а), з одним заднім (рис. 2, б), а також з двома однаковими (рис. 2, в) відносними натягами. Як видно з рис. 2, при збільшенні відносного натягу від 0,2 до 0,5, сила прокатки зменшується на 19...40 кН, причому в випадку прокатки з двома однаковими відносними натягами відбувається найбільше зменшення даного параметру. За отриманими експериментальними даними (рис. 2) параметрів процесу визначали зміну сумарної потужності при прокатці без натягу і з натягом (рис. 3).

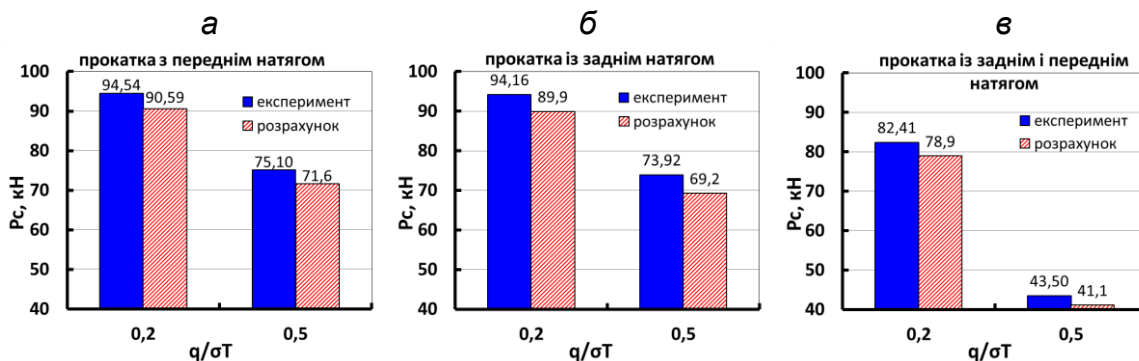


Рис. 2 – Порівняння результатів експериментального і теоретичного дослідження сили прокатки з натягом

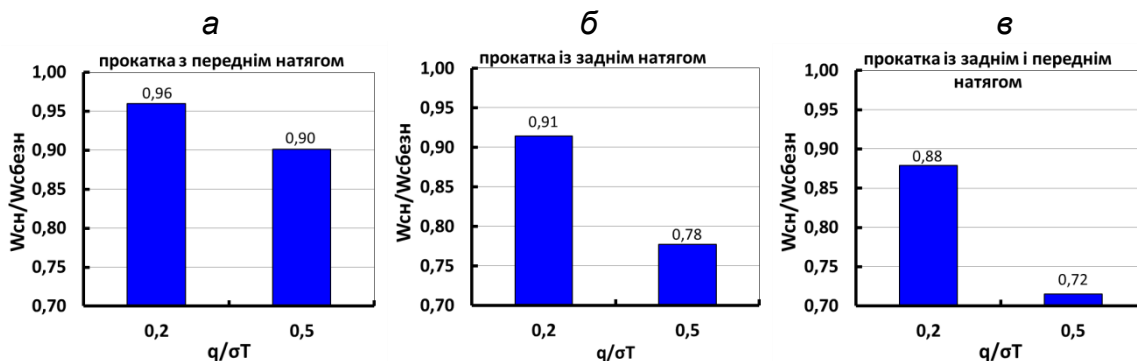


Рис. 3 – Результати експериментального дослідження потужності при прокатці штаб з різними натягами

Наведені на рис. 3 дані показують, що найбільше зменшення потужності спостерігається при прокатці з двома натягами, і склало 28%. В енергетичному плані прокатка з переважаючим заднім натягом вигідніше (рис. 3, б), ніж прокатка з переважаючим переднім натягом (рис. 3, а). Зі збільшенням відносного заднього натягу від 0,2 до 0,5 (рис. 3, б) витрати енергії скорочуються на 13 %. При збільшенні рівня відносного натягу енергетична доцільність застосування переважаючого заднього натягу зростає.

УДК 621.18:662.61:504.05

Ю. А. Гичёв, Д.С. Адаменко, М. Ю. Мацукевич

Национальная металлургическая академия Украины, Днепр

ЭКОНОМИЯ ТОПЛИВА ПРИ ПУЛЬСАЦИОННО-АКУСТИЧЕСКОМ СЖИГАНИИ В ПАРОВОМ КОТЛЕ

Пульсационно-акустическое сжигание топлива для существующих серийных котлов позволяет без существенных изменений в конструкциях котельных агрегатов и горелочных устройств достичь позитивного результата в повышении эффективности работы котлов: снижение недожога топлива, повышение к.п.д. котла и снижение удельного расхода топлива на выработку пара.

Общий вид котла и необходимое аппаратное обеспечение для пульсационно-акустического сжигания топлива приведены на рис. 1.

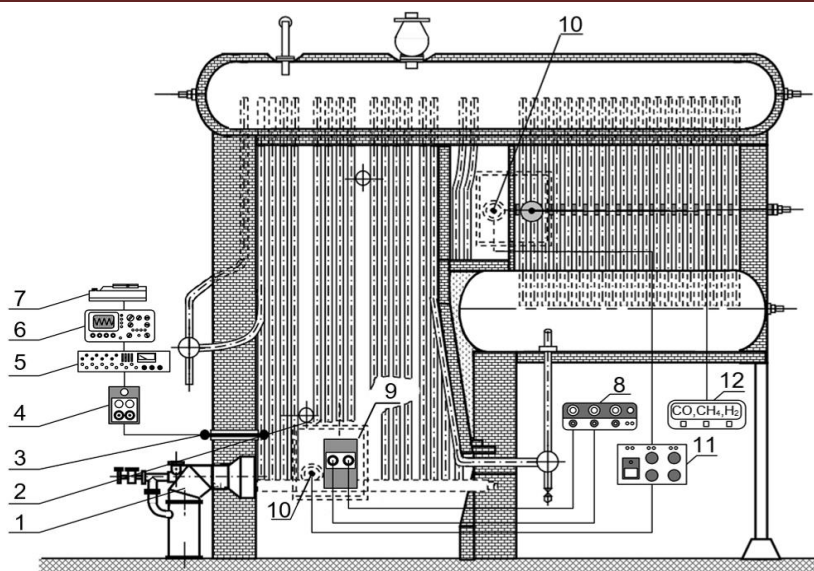


Рис. 1 – Общий вид котла и схема аппаратного обеспечения пульсационно-акустического сжигания топлива

1 – горелка; 2 – топка котла; 3 – акустический зонд; 4 – предусилитель; 5 – магнитофон; 6 – анализатор спектра; 7 – графопостроитель; 8 – звуковой генератор; 9 – электродинамический возбудитель; 10 – термопара; 11 – потенциометр; 12 – хроматограф

Изменения в работе котла при пульсационно-акустическом сжигании топлива проявляются в снижении химического недожога топлива (см. табл.1.) и в повышении температуры в топке (см.рис.2) по сравнению с работой котла без наложения акустических пульсаций.

Таблица 1 – Результаты анализа продуктов сгорания, отобранных за топкой

Режим работы котла	Компоненты продуктов сгорания, об. %					Химический недожог, %
	CO	H ₂	CH ₄	CO ₂	O ₂	
Без наложения акустических пульсаций	0,06	0,12	0,15	7,2	3,05	2,043
С наложением акустических пульсаций	0,01	0,03	0,04	8,0	1,65	0,486

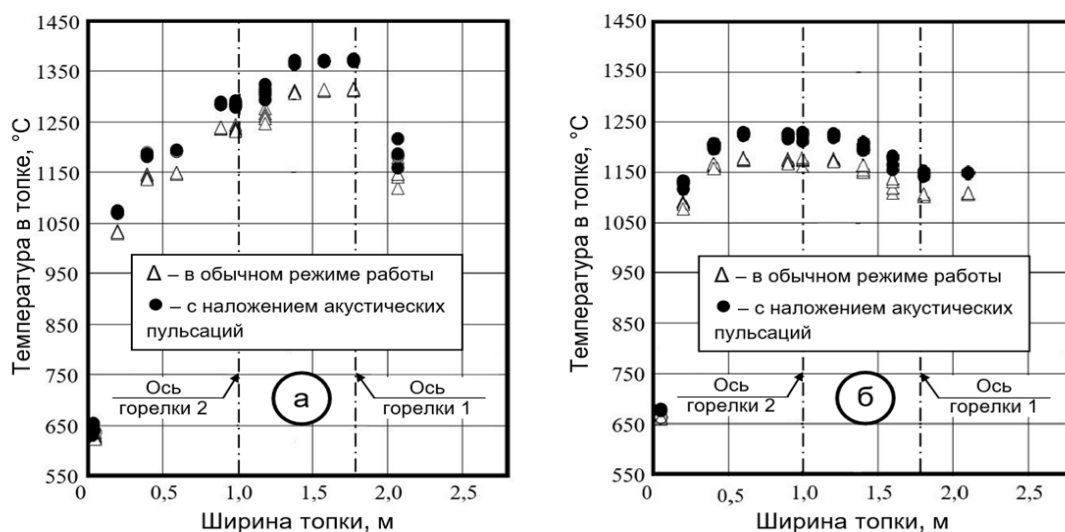


Рис. 2 – Распределение температур по ширине топки на расстоянии от горелки 1,8 м (а) и 2,8 м (б)

Снижение химического недожога топлива увеличило температуру в топке в среднем более чем на 50°C . Химический недожог топлива снизился примерно в четыре раза (с 2% до 0,5%). Соответственно, увеличился к.п.д. котла и снизился удельный расход топлива на выработку пара.

Для парового котла ДКВР-10-13 экономия условного топлива в течение года может составить $64 \div 186$ т в зависимости от относительной тепловой нагрузки на котел (отношение фактической нагрузки к номинальной). Вследствие уменьшения недожога топлива снижение выбросов CO в атмосферу в течение года может составить $16 \div 48$ т.

УДК 669.184.152.4

Ю. А. Гичёв, М. Ю. Мацукевич

Национальная металлургическая академия Украины, Днепр

УМЕНЬШЕНИЕ ОБЪЕМА КОНВЕРТЕРНОГО ГАЗА ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ ЖЕЛЕЗОРУДНОГО СЫРЬЯ

Возможность использования конвертерного газа в качестве восстановителя обусловлена его высоким восстановительным потенциалом. Вариант компоновки реактора-восстановителя на газоотводящем тракте конвертера приведен на рис. 1.

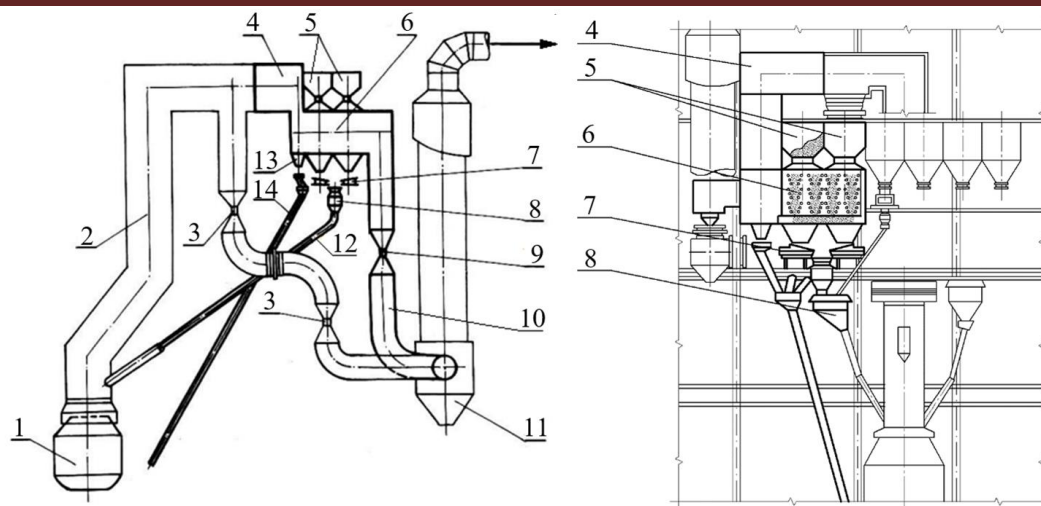


Рис. 1 – Компонівка реактора-восстановителя на газоотводящем тракте конвертера
 1 – конвертер; 2 – ОКГ; 3 – основная газоочистка; 4 – подводящий газопровод;
 5 – бункера; 6 – реактор-восстановитель; 7 – питатель; 8 – бункер-накопитель;
 9 – газоочистка обводного газопровода; 10 – обводной газопровод;
 11 – влагоотделитель; 12 – точка для подачи сыпучей шихты;
 13 – карман для сбора пыли; 14 – точка для удаления пыли

Возможность уменьшения объема конвертерного газа при восстановлении железорудного сырья обусловлена реакцией Л. Белла: $2\text{CO} \rightleftharpoons \text{CO}_2 + \text{C}$, сопутствующей восстановлению оксидов железа монооксидом углерода и сопровождающейся уменьшением объема газовой фазы в два раза.

При распаде CO конвертерного газа реакцию Л. Белла можно представить в следующем виде:

$$V'_{\text{CO}}(\text{CO}) + V'_{\text{CO}_2}(\text{CO}_2) = V'_{\text{CO}_2}(\text{CO}_2) + \frac{V'_{\text{CO}} - V''_{\text{CO}}}{2}(\text{CO}_2) + V''_{\text{CO}}(\text{CO}) + (\text{C}), \quad (1)$$

где $V'_{\text{CO}}, V'_{\text{CO}_2}, V''_{\text{CO}}$ – соответственно объемы CO и CO₂ в конвертерном газе до и после распада.

Выражение для определения объема диоксида углерода после распада CO с учетом уравнения (1) имеет вид:

$$V''_{\text{CO}_2} = V'_{\text{CO}_2} + \frac{V'_{\text{CO}} - V''_{\text{CO}}}{2}. \quad (2)$$

При этом соотношение объемов CO и CO₂ после реакции распада определяется равновесным соотношением:

$$\frac{V''_{\text{CO}}}{V''_{\text{CO}_2}} = \frac{\text{CO}^p}{\text{CO}_2^p}, \quad (3)$$

Путем совместного решения уравнений (2) и (3) определяются объемы компонентов конвертерного газа CO и CO₂ после каталитического распада.

Уменьшение объема конвертерного газа определяется соотношением:

$$k_v = \frac{V'_{\text{CO}} + V'_{\text{CO}_2}}{V''_{\text{CO}} + V''_{\text{CO}_2}}. \quad (4)$$

Представленные на рис. 2. результаты расчета указывают на возможность уменьшения объема конвертерного газа при каталитическом распаде CO в 1,1÷1,8 раза.

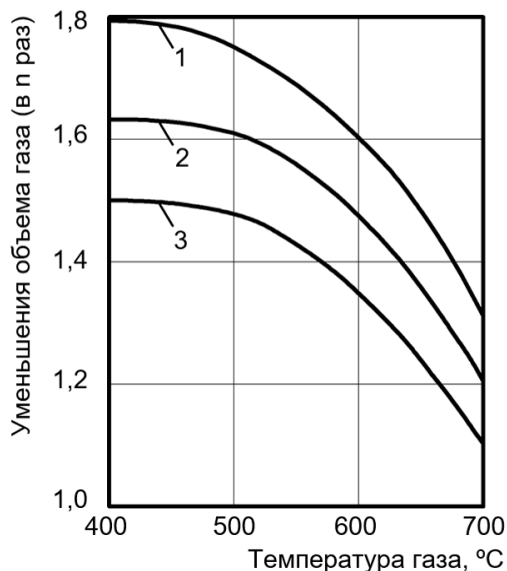


Рис. 2 – Зависимость уменьшения объёма конвертерного газа от температуры газа и исходного содержания CO в газе при каталитическом распаде CO

1 – исходное содержание CO в газе 90%; 2 – 80%; 3 – 70%

Ю. А. Гичёв, М. Ю. Ступак, М. Ю. Мацукевич

Национальная металлургическая академия Украины, Днепр

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ДИССИПАЦИИ ПУЛЬСАЦИЙ ГАЗОВОГО ПОТОКА

Диссипация пульсаций газового потока неизбежна при реализации пульсационного сжигания топлива, так как пульсатор и горелочное устройство размещены на расстоянии друг от друга. Движение пульсирующего газового потока от пульсатора к горелке по трубопроводу приводит к рассеиванию и потере энергии волнового движения, и, соответственно, к ослаблению пульсаций.

Диссипация пульсаций оценивалась по снижению интенсивности звука при прохождении пульсирующего газового потока через экспериментальную установку от момента генерации пульсаций до выхода из трубопровода. Интенсивность звука пульсирующего газового потока перед пульсатором I_1 , после пульсатора I_2 и на выходе из трубопровода I_3 определялась выражениями:

$$I_1 = \frac{p_{a1}^2}{\rho \cdot v_3}, \quad I_2 = \frac{p_{a2}^2}{\rho \cdot v_3}, \quad I_3 = \frac{p_{a3}^2}{\rho \cdot v_3}, \quad (1-3)$$

где p_{a1} , p_{a2} и p_{a3} – амплитудные значения акустического давления пульсирующего газового потока до пульсатора, после пульсатора и на выходе из исследуемого участка трубопровода; ρ – плотность газа; v_3 – скорость звука.

Анализ результатов экспериментального исследования выполнен путем сравнения относительной интенсивности звука при прохождении пульсирующего газового потока через пульсатор \bar{I}_Π , через пульсатор вместе с исследуемым участком трубопровода $\bar{I}_{\Pi-T}$ и через исследуемый участок трубопровода \bar{I}_T без учета пульсатора:

$$\bar{I}_\Pi = \frac{I_2}{I_1}, \quad \bar{I}_{\Pi-T} = \frac{I_3}{I_1}, \quad \bar{I}_T = \frac{I_3}{I_2} \quad (\text{доли ед.}). \quad (4-6)$$

На рис. 1 представлено относительное изменение интенсивности звука пуль-

сирующего газового потока за пульсатором \bar{I}_{Π} , характеризующее акустическое сопротивление пульсатора, и в конце трубопровода $\bar{I}_{\Pi-T}$, характеризующее акустическое сопротивление пульсатора и диссипацию пульсаций в трубопроводе.

Экспериментальные исследования пульсирующего газового потока показали, что во всех случаях происходит диссипация пульсаций газового потока, причем наиболее контрастно это проявляется за пульсатором и на выходе из трубопровода вследствие изменения турбулентности потока.

Звук распространяется в трубопроводе плоской волной, что делает потери звукового давления при прохождении по прямолинейному участку трубы минимальными по сравнению с потерей звукового давления в пульсаторе и на выходном участке трубы.

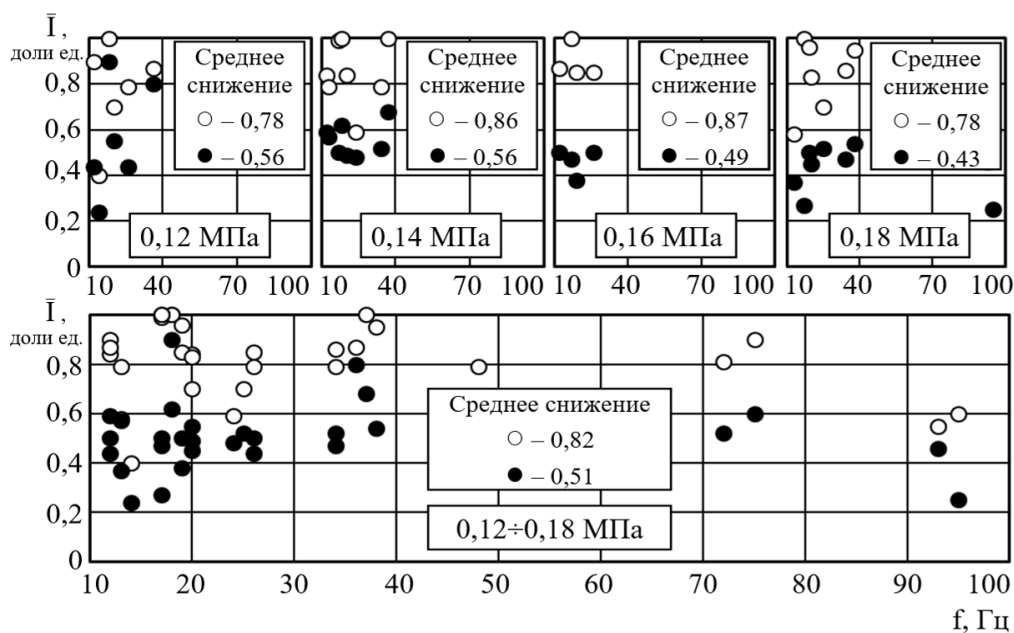


Рис. 1 – Относительное изменение интенсивности звука пульсирующего газового потока при прохождении пульсатора \bar{I}_{Π} (○) и пульсатора совместно с трубопроводом $\bar{I}_{\Pi-T}$ (●)

Для снижения диссипации при конструировании трассы для пульсирующего газового потока следует избегать участков, деформирующих газовый поток и вызывающих изменения в турбулентности потока.

Ю. А. Гичёв, М.Ю. Ступак, М. Ю. Мацукевич

Национальная металлургическая академия Украины, Днепр

АНАЛИЗ ТЕПЛОВОГО БАЛАНСА РАЗОГРЕВА СТАЛЕРАЗЛИВОЧНЫХ КОВШЕЙ ПРИ ПУЛЬСАЦИОННО-РЕЗОНАНСНОМ СЖИГАНИИ ТОПЛИВА

Результаты испытаний системы пульсационно-резонансного сжигания топлива на посту разогрева сталеразливочных ковшей указывает на целесообразность применения пульсационно-резонансного сжигания на постах интенсивного разогрева ковшей под плавку, так как пульсационно-резонансный режим позволяет наряду с увеличением расхода газа форсировать разогрев резонансной пульсацией факела. Экономия природного газа составила $19,5 \div 37,8\%$, что позволяет рекомендовать пульсационно-резонансный режим сжигания топлива на стендах разогрева к опытному внедрению.

Анализ тепловых балансов процессов разогрева сталеразливочных ковшей заключался в сопоставлении полезно использованной теплоты и потерь теплоты. Сравнение статей затрат полезно использованной теплоты, представлено на рис. 1.

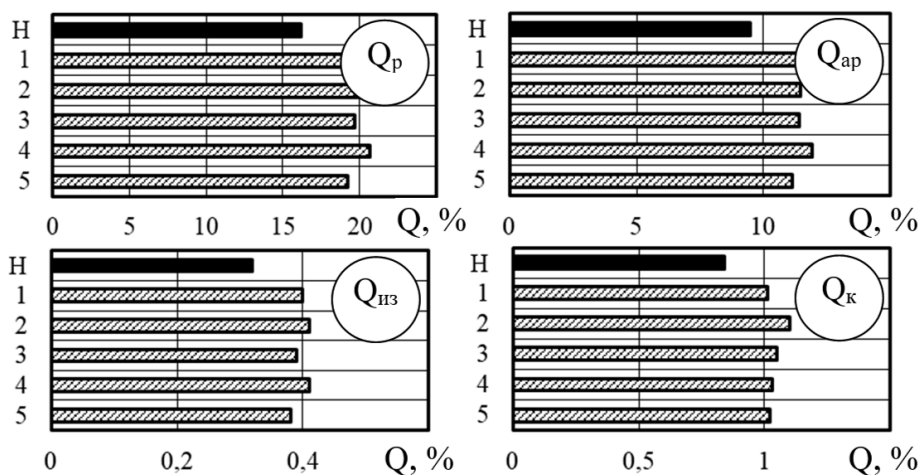


Рис. 1 – Сравнение статей полезно использованной теплоты
при разогреве ковшей:

Q_p , $Q_{ар}$, $Q_{из}$, Q_k – соответственно, расходы теплоты на нагрев рабочей кладки, арматурного ряда, теплоизоляции и кожуха ковша;
(Н – сушка нормативного ковша без пульсаций; 1...5 – номера опытных режимов с пульсацией)

Наиболее весомыми статьями полезно использованной теплоты при разогреве ковшей являются расходы теплоты на нагрев рабочей кладки Q_r и арматурного ряда Q_{ar} (в сумме доля этих статей для опытных режимов составила в пределах 30,4÷32,6%). Полезно использованная теплота по всем статьям расхода при пульсационно-резонансном сжигании топлива в опытных режимах превышает те же статьи при обычном сжигании топлива в нормативном ковше, что указывает на более интенсивную теплоотдачу от продуктов сгорания к кладке в опытных ковшах по сравнению с нормативным.

Соотношение между статьями потерь теплоты, представленное на рис. 2, позволяет сделать следующие выводы:

- наиболее существенными потерями теплоты в процессах разогрева сталеразливочных ковшей являются потери теплоты с уходящими газами Q_{yx} (в среднем 53%);
- во всех опытах потери теплоты с уходящими газами при пульсационно-резонансном сжигании топлива ниже, чем при обычном сжигании (на 1,9-6,7%);
- при пульсационно-резонансом сжигании топлива заметно снижаются потери теплоты от химического недожога топлива $Q_{хим}$ (в среднем эти потери составили 3,5% при потерях в нормативном ковше 6,1%).

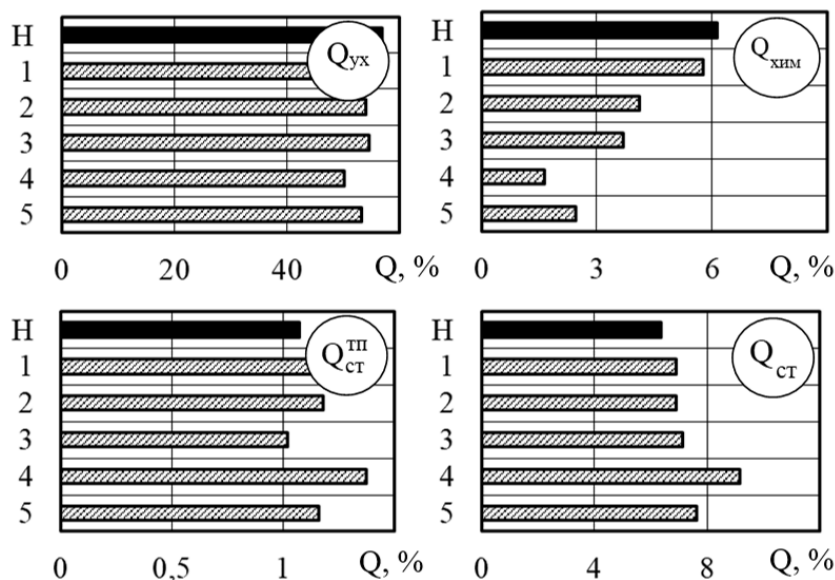


Рис. 2 – Сравнение статей потерь теплоты при разогреве ковшей:

Q_{yx} – потери теплоты с уходящими газами; $Q_{хим}$ – потери теплоты от химического недожога топлива; $Q_{ст}^{тп}$ – потери теплоты теплопередачей через стенку ковша; $Q_{ст}$ – потери теплоты, связанные с отбойной стенкой станда

УДК 669.184:662.612

Ю. А. Гичёв, М.Ю. Ступак, М. Ю. Мацукевич

Национальная металлургическая академия Украины, Днепр

АНАЛИЗ ТЕПЛОВЫХ БАЛАНСОВ ПРОЦЕССОВ СУШКИ СТАЛЕРАЗЛИВОЧНЫХ КОВШЕЙ ПРИ ПУЛЬСАЦИОННО-РЕЗОНАНСНОМ СЖИГАНИИ ТОПЛИВА

Испытание пульсационно-резонансного сжигания топлива на стенде сушки сталеразливочных ковшей указывает на более интенсивное протекание процесса сушки по сравнению с обычным сжиганием топлива, что позволяет уменьшить продолжительность процесса и, соответственно, сократить расход топлива. Экономия природного газа при пульсационно-резонансном сжигании в сравнении с нормативными показателями, т.е. без пульсации, составила $2,7 \div 26,1$ %.

В тепловом балансе процессов сушки наиболее весомыми статьями расхода теплоты (см.рис.1) являются расходы топлива на нагрев рабочей кладки Q_p , арматурного ряда Q_{ap} и испарение влаги $Q_{исп}$ (в сумме доля этих расходов теплоты для опытных режимов составила в пределах $38,1 \div 43,9\%$). Полезно использованная теплота по всем статьям расхода при пульсационно-резонансном сжигании топлива в опытных ковшах превышает те же статьи при обычном сжигании топлива в нормативном ковше, что указывает на более интенсивную теплоотдачу от продуктов сгорания к кладке в опытных ковшах по сравнению с нормативным.

Соотношение между статьями потерь теплоты, представленное на рис. 2. позволяет сделать следующие выводы:

- наиболее существенными потерями теплоты в процессах сушки сталеразливочных ковшей являются потери теплоты с уходящими газами Q_{yx} и от химического недожога топлива $Q_{хим}$;
- во всех опытах потери теплоты с уходящими газами при пульсационно-резонансном сжигании топлива в ковше ниже, чем при обычном сжигании;
- при пульсационно-резонансном сжигании топлива заметно снижаются потери теплоты от химического недожога топлива $Q_{хим}$ (в среднем эти потери составили $4,1\%$ при потерях в нормативном ковше $7,4\%$).

Таким образом, анализ тепловых балансов процесса сушки сталеразливочных ковшей показал, что при пульсационно-резонансном сжигании топлива за счет увели-

чения полезно использованной теплоты и уменьшения потерь теплоты возрастает тепловой к.п.д. процесса сушки при соответствующей экономии топлива.

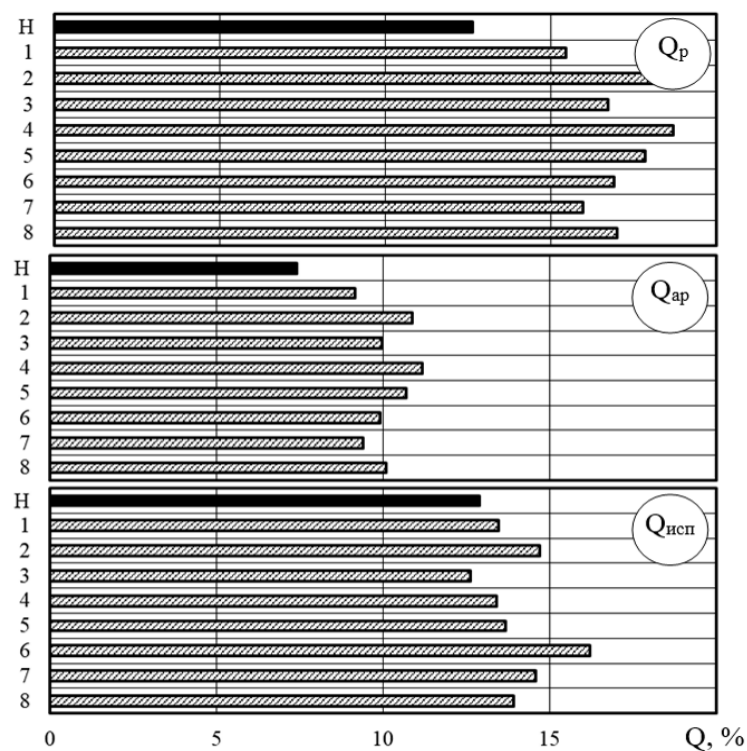


Рис. 1 – Сравнение статей полезно использованной теплоты при сушке ковшей: Q_p, Q_{ap} – расходы теплоты на нагрев рабочей кладки и арматурного ряда; Q_{исп} – теплота, затраченная на испарение влаги (H – сушка нормативного ковша без пульсаций; 1...8 – номера опытных режимов с пульсацией)

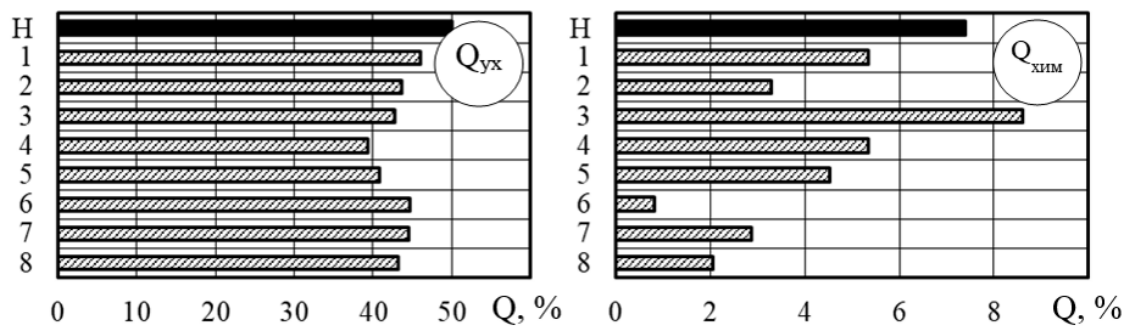


Рис. 2 – Сравнение статей потерь теплоты при сушке ковшей: Q_{yx} – потери теплоты с уходящими газами; Q_{хим} – потери теплоты от химического недожога топлива

Ю. А. Гичёв, М. Ю. Ступак, М. Ю. Мацукевич

Национальная металлургическая академия Украины, Днепр

ОБОБЩЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ДИССИПАЦИИ ПУЛЬСАЦИЙ ГАЗОВОГО ПОТОКА

Обобщение результатов экспериментального исследования по диссипации пульсаций газового потока необходимо для расчета трассы в системе пульсационно-резонансного сжигания топлива. На рис. 1. представлено сравнение экспериментальных данных по снижению интенсивности звука за пульсатором (\circ , \square , Δ) и в конце трубопровода (\bullet , \blacksquare , \blacktriangle).

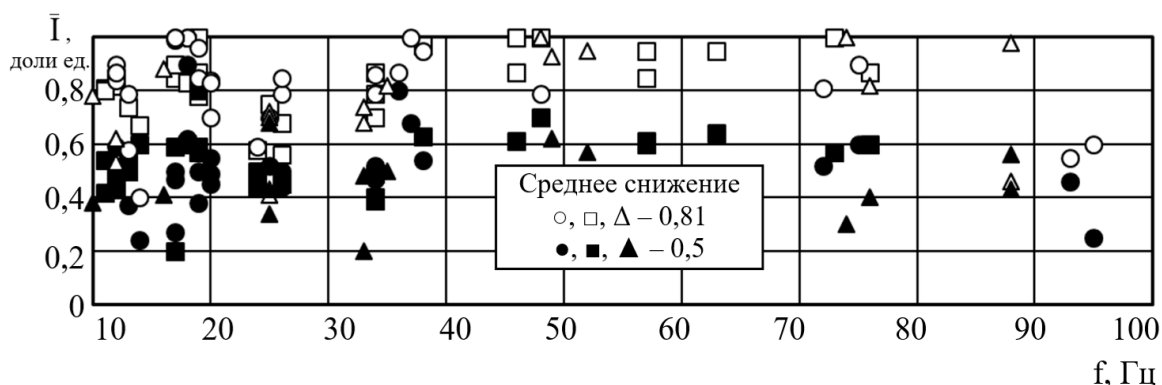


Рис. 1 – Экспериментальных данных по снижению интенсивности звука за пульсатором (\circ , \square , Δ) и в конце трубопровода (\bullet , \blacksquare , \blacktriangle)

На рис. 2 показаны экспериментальные данные по снижению интенсивности звука на линейном участке трубопровода.

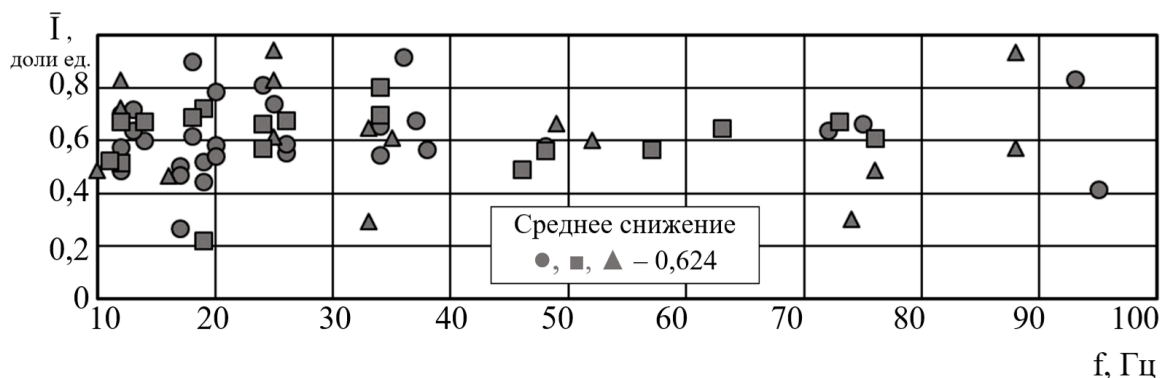


Рис. 2 – Экспериментальные данные по снижению интенсивности звука на линейном участке трубопровода (\bullet , \blacksquare , \blacktriangle)

Анализ волнового уравнения, размерностей параметров и условия проведения экспериментов позволяет обобщить экспериментальные данные путём аппроксимации совокупности полученных результатов критериальным уравнением:

$$\bar{I}_T = C \cdot St^q \cdot \left(\frac{p}{p_0} \right)^r \cdot \left(\frac{l_T}{d_T} \right)^s, \quad (1)$$

где p , p_0 – соответственно, давление в трубопроводе и атмосферное давление; l_T, d_T – соответственно, длина и диаметр трубопровода; St – число Струхала, которое учитывает влияние на изменение интенсивности звука частоты пульсаций f

$$St = \frac{f \cdot l_T}{v}, \quad (2)$$

где v – скорость газа, проходящего через трубопровод экспериментальной установки.

Значения коэффициентов в критериальном уравнении (1), полученные в результате обработки и обобщения экспериментальных данных, приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Значения коэффициентов в критериальном уравнении (1) для расчета диссипации пульсаций газового потока.

Место определения звукового давления \bar{I}	Частота пульсаций, Гц	C	q	r	s
за пульсатором \bar{I}_Π	$10 < f < 60$	0,8	0,06	-0,51	0,018
	$60 < f < 100$	0,85	-0,12	0,42	0,1
на линейном участке трубопровода \bar{I}_T	$10 < f < 60$	0,45	0,08	-0,37	0,044
	$60 < f < 100$	0,39	0,16	0,37	-0,13
в конце трубопровода $\bar{I}_{\Pi-T}$	$10 < f < 60$	0,51	-0,056	0,43	0,044
	$60 < f < 100$	0,42	0,19	0,39	-0,13

Критериальное уравнение (1) с учетом коэффициентов, приведенных в табл. 1, применимо при давлении в трубопроводе $p = 0,12 \div 0,18$ МПа, частоте пульсаций $f = 10 \div 100$ Гц и относительной длине трубопровода $l_T/d_T = 2 \div 60$ с отклонением расчетных данных от экспериментальных $\pm 12\%$.

Ю. А. Гичёв, М. Ю. Ступак, М. Ю. Мацукевич

Национальная металлургическая академия Украины, Днепр

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИССИПАЦИИ ПУЛЬСАЦИЙ ГАЗОВОГО ПОТОКА В СИСТЕМЕ ПУЛЬСАЦИОННО- РЕЗОНАНСНОГО СЖИГАНИЯ ТОПЛИВА

Работа касается разработки системы пульсационно-резонансного сжигания топлива. Конструктивные и технологические характеристики экспериментальной установки соответствуют стенду сушки сталеразливочных ковшей в опытно-промышленном исследовании пульсационно-резонансного сжигания.

В общем виде задача исследования диссипации пульсаций газового потока заключается в прогнозировании изменения характеристик пульсирующего газового потока при перемещении его в трубопроводе от пульсатора к горелке.

Исследованиям пульсации в виде колебаний давления и расхода газа в трубопроводных системах посвящено достаточно большое количество работ, преимущественно теоретических и связанных с волновым движением газового потока. Вопросы диссипации волновой энергии в этих работах несут сопутствующий характер в исследовании газодинамики пульсирующего газового потока и, соответственно, имеют второстепенное значение. В целом анализ возможности применения результатов известных работ для исследования диссипации пульсаций газового потока в системе пульсационно-резонансного сжигания топлива позволяет сделать следующие выводы:

- теоретические решения уравнений волнового движения возможны только с учетом допущений упрощающих задачу, что, соответственно, сказывается на значении полученных результатов для решения практических задач;
- решение уравнений волнового движения с учетом диссипации дополнительно и существенно усложняет задачу;
- помимо методических упрощений теоретические решения волнового движения в ряде случаев требуют экспериментальных значений параметров и величин, входящих в эти решения;
- во всех случаях результаты теоретических решений требуют экспериментальной проверки.

В связи с этим целесообразным является исследование диссипации пульсаций газового потока на экспериментальной установке (см.рис.1.), выполненной в соответствии с системой пульсационно-резонансного сжигания топлива.

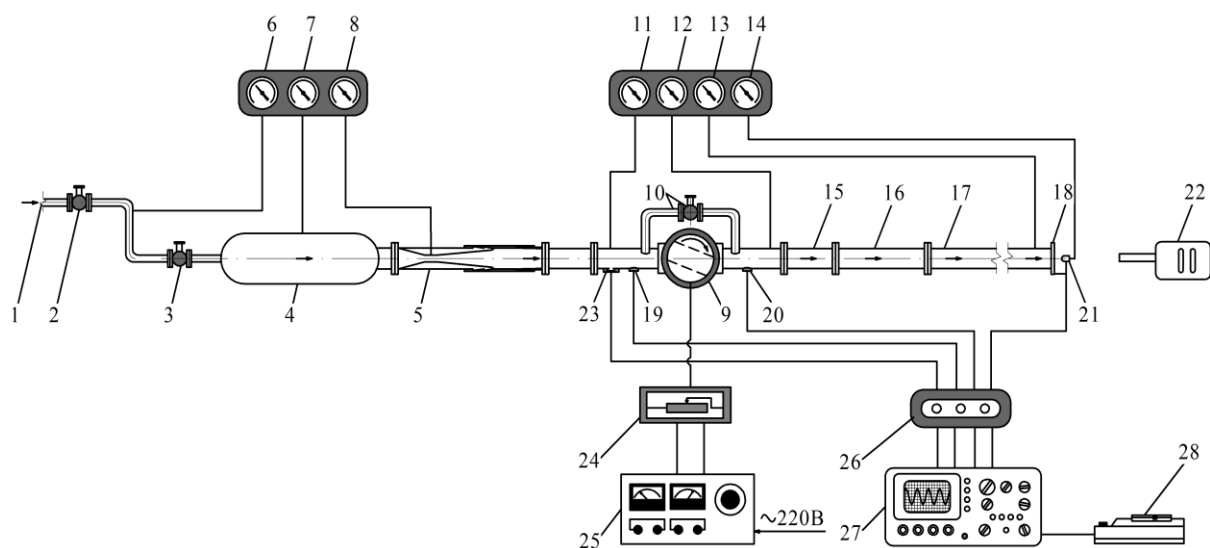


Рис. 1 – Общий вид экспериментальной установки для исследования диссипации пульсаций газового потока

- 1– трубопровод сжатого воздуха; 2 и 3 – запорная и регулирующая задвижки;
 4 – форкамера; 5 – расходомерная трубка Вентури; 6 и 7 – манометры;
 8– вакуумметр; 9 – пульсатор с цилиндрическим прерывателем потока газа;
 10 – байпас с запорно-регулирующей задвижкой; 11-14 – манометры;
 15-17 – секции трубопровода; 18 – диафрагма имитирующая горелочное устройство;
 19-21 – датчики пульсаций; 22 – источник света;
 23 – фотодатчик; 24 – реостат; 25 – выпрямитель электрического тока;
 26 – преобразователь сигнала; 27 – осциллограф; 28 – графопостроитель

Экспериментальная установка подключена к стационарному трубопроводу сжатого воздуха и последовательно включает: форкамеру, измерительную трубку Вентури, пульсатор с цилиндрическим прерывателем, съемные секции трубопровода, и диафрагму, установленную на открытом торце трубопровода для имитации газодинамического сопротивления горелки. Длина трубопровода принята в соответствии с чертежами опытного поста сушки сталеразливочных ковшей.

А. А. Глотка, А. В. Овчинников

Запорожский национальный технический университет, г. Запорожье

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ЖАРОПРОЧНЫХ ПОРОШКОВ В АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ

Среди технологий, интенсивно развивающихся в настоящее время, особое место занимают аддитивные. Они позволяют формировать готовые изделия без применения традиционных способов производства. Внедрение этих технологий особенно актуально для авиакосмической и авиадвигателестроительной отраслей.

Отдельным вопросом при внедрении аддитивных технологий является выбор сырья, который не так уж и велик. В настоящее время не существует общих требований к металлопорошковым композициям. Разные компании-производители АМ-машин (от Additive Manufacturing – «аддитивное производство») предписывают работу с определенным перечнем материалов, обычно поставляемых самой этой компанией. В разных машинах используются порошки различного фракционного состава, которые классифицируют по условному диаметру частиц, подразделяя их на нанодисперсные с диаметром частиц менее 0,1 мкм, ультрадисперсные с диаметром 0,1–1,0 мкм, высокодисперсные от 1,0 до 10 мкм, мелкие от 10 до 40 мкм, средние от 40 до 250 мкм и крупные от 250 до 1000 мкм. Фракционный состав влияет на качество поверхности готовой детали. В тоже время, чем больше размер порошка, тем больше его удельная поверхность и насыщенность примесями. Исходя из этого нужно подбирать тот или иной фракционный состав порошка для определенного вида изделий.

Также требованием к порошкам для АМ-машин является сферическая форма частиц с фракцией от 40 до 100 мкм. Эти порошки следует отнести к порошкам мелкой и средней фракции. Такая форма и фракционный состав обеспечивают хорошую текучесть порошков, что облегчает прохождение порошка по технологическим каналам. Существуют также порошки несферической (угловатой) формы, которые имеют невысокий показатель текучести, что ограничивает их применение в данной технологии.

Важным требованием к порошкам является химический состав и микроструктура, поскольку готовое изделие будет наследовать эти характеристики, так как по-

слоиное нанесение материала выполняется в масштабах, соизмеримых с размерами частиц материала.

Наряду с произведенным за рубежом порошком, который изготавливается центробежным распылением, есть возможность применить порошковые материалы отечественного производства. В частности, на ГП «УкрНИИСпецСталь» производится широкий спектр порошковых материалов разного химического и фракционного состава методом газового распыления. Преимуществом данного метода является невысокая стоимость в сочетании с качеством. Однако необходимо провести ряд исследований, направленных на оптимизацию соответствующих порошков под использование для АМ-машин. Основными из них являются химический, фракционный составы, текучесть, форма частичек и микроструктура материала.

Цель работы - определить возможность применения отечественных порошков жаропрочных материалов в аддитивных технологических процессах.

Для проведения исследования был выбран порошок жаропрочного сплава ЭП741(ХН51КВМТЮБ), который применяется для производства дисков ГТД. Порошок по химическому составу соответствует ГОСТ 52802-2007 с размером фракции от 160 до 50 мкм и имеет сферическую форму. Такая фракционность неприемлема для АМ-машин, поэтому в дальнейшем необходимо произвести разделение порошка на отдельные фракции.

Текучесть порошка измеряли в соответствии с ГОСТ 20899-98, для исследуемого порошка она составила 32 секунды на 50 грамм навески, что соответствует нормам, предъявляемым к жаропрочным материалам. Поверхность порошка имеет дендритное строение, типичное для литых материалов. Как правило микроструктура сплавов данного состава состоит из γ -твердого раствора на основе никеля, интерметаллида $Ni_3(Ti,Al)$ и карбидов типа MC и $M_{23}C_6$.

Таким образом, данный материал может применяться для АМ-технологий после разделения на фракции, что открывает дополнительные возможности для отечественного авиадвигателестроения.

А. М. Гришин, Е. С. Зыкин

Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепр

**ВЛИЯНИЕ ДОБАВКИ $Fe_{мет.}$ НА УГЛЕРОДОТЕРМИЧЕСКОЕ ВОССТАНОВЛЕНИЕ
ОКСИДА ХРОМА**

Возможные пути развития углеродотермического восстановления Cr_2O_3 , определенные в предыдущем разделе, подверглись экспериментальной проверке. Исходными материалами служили окись хрома (III) квалификации ЧДА и спектральный графит.

Исследования проведенные в неизотермическом режиме со скоростью нагрева образца $\sim 10K/мин$ показали, что углеродотермическое восстановление Cr_2O_3 начинается несколько выше $1100\text{ }^{\circ}C$. При $1200\text{ }^{\circ}C$ процесс развивается со значительной скоростью – в течение процесса ω достигала $\sim 30\%$. Восстановление оксида хрома приводило к образованию стабильного Cr_3C_2 . Однако следует отметить, что рентгеноструктурные исследования обнаружили появление малых количеств термодинамически неустойчивого Cr_7C_3 . Экспериментальные исследования подтвердили выводы термодинамического анализа о возможности появления нестабильных твердых продуктов в ходе углеродотермического восстановления Cr_2O_3 и участии образовавшегося Cr_3C_2 в удалении кислорода оксидной фазы.

Поскольку настоящая работа направлена на разработку физико-химических основ твердофазного получения железохромистых легирующих материалов, необходимо определить влияние $Fe_{мет.}$ на кинетику процесса и установить возможный механизм такого влияния. Было установлено, что ввод железа тормозит восстановление Cr_2O_3 углеродом при $1200 - 1300\text{ }^{\circ}C$. Это согласуется с литературными сведениями. Негативный эффект имел место и мало изменялся при варьировании массы добавки в пределах – от 10 до 100% по отношению к исходному содержанию хрома в образце. Эффект торможения процесса добавками $Fe_{мет.}$ нельзя связать с ухудшением контакта оксидной фазы с $C_{ТВ.}$. Такому заключению противоречит неизменность скорости восстановления Cr_2O_3 при вводе в шихту даже больших количеств инертного разбавителя – Al_2O_3 . Объяснение установленному факту следует искать с учетом неоднозначного влияния железа на кинетику процесса. С одной стороны, $Fe_{мет.}$ может ускорять восстановление вследствие каталитического воздействия на реакцию и растворения в нем хрома и его карбида. С другой стороны, возможно за-

медление процесса из-за расходования части СО на науглероживание железа и образование его карбида.

УДК:669.181.4:669.784

А. М. Гришин, В. П. Иващенко, И. С. Щеглова, Р. С. Дзююра

Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепр

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ГУБЧАТЫХ ЛИГАТУР С НИЗКИМ СОДЕРЖАНИЕМ УГЛЕРОДА

Губчатые и порошковые лигатуры обладают уникальным комплексом технологических свойств, что позволяет использовать их для выплавки специальных марок стали и сплавов, а также в порошковой металлургии. Применение губчатых и порошковых лигатур позволяет значительно снизить затрат на основные и вспомогательные материалы, энергоносители и более полно извлечь легирующие элементы из руд.

Целью данной работы является разработка термодинамических основ получения сложной лигатуры методом твердофазного восстановления оксидов с участием карбида хрома. Предложенный нами способ получения лигатуры заключается в комплексном восстановлении смеси оксидов предварительно полученным карбидом хрома Cr_7C_3 . Для некоторых оксидов была рассчитана температура начала восстановления при различных значениях α . По предложенной методике рассчитан равновесный состав газовой фазы при восстановлении оксидов железа карбидом Cr_7C_3 . Восстановление протекает последовательно $\text{Fe}_3\text{O}_4 \rightarrow \text{FeO} \rightarrow \text{Fe}$, при этом вероятнее режим процесса будет ступенчатый, однако, это требует дополнительного анализа.

Наряду с оксидами металлов в процессе восстановления могут участвовать и другие кислородсодержащие соединения, например компоненты прокатной окалины – ферриты: NiFe_2O_4 , CoFe_2O_4 , Fe_2MnO_4 и др. Термодинамический анализ показал возможность их восстановления карбидами хрома в заданных температурных условиях.

Возможность использования восстановительного потенциала карбидов (вненесенных либо образующихся) в заданных температурных границах может быть оценена по температуре начала их газификации.

Нами было проанализированы альтернативные варианты как для углеродотермического, так и комплексного восстановления феррита марганца с участием карбидов хрома.



УДК:669.141.2:536.1

А. М. Гришин

Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепр

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ УГЛЕРОДОТЕРМИЧЕСКОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ ХРОМИТА ЖЕЛЕЗА

Химический и минералогический состав хромистой руды весьма разнообразен, что предопределяет сложную и многостадийную технологию ее переработки, которая сопровождается различными физико-химическими превращениями. При углеродотермическом восстановлении хромовой руды, в области умеренных температур, эти превращения можно условно представить схемой

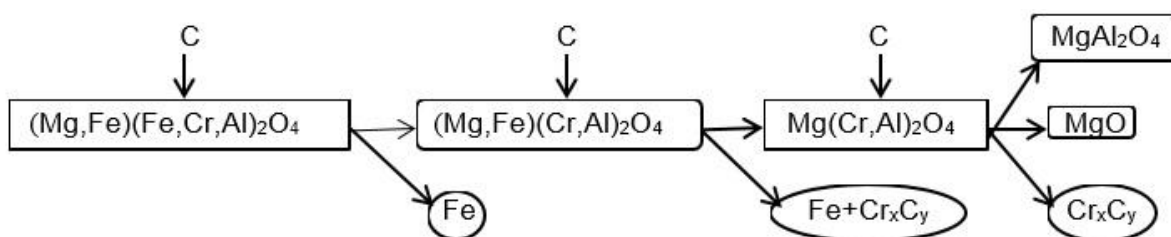


Рисунок – Схема восстановления хромовой руды, в области умеренных температур

Таким образом, на разных этапах процесса реализуется восстановление железа и хрома по разным схемам. Проведенный нами термодинамический анализ углеродотермического и комплексного восстановления хромовой руды, подтверждают гипотезу о последовательном восстановлении Fe и Cr. Однако данные свидетельствуют о достаточно близкой восстановимости хрома и железа, что создает предпосылки для параллельного восстановления железа и хрома из сложного оксидного соединения. Вероятнее всего это может иметь место на конечной стадии. При достижении условий начала восстановления хрома, в системе кроме хромита и угле-

рода, присутствуют $\text{Fe}_{\text{нас.С.}}$ и/или Fe_3C . Далее процесс может развиваться по трем гипотетическим схемам:

а) образующиеся атомы хрома растворяются в $\text{Fe}_{\text{нас.С.}}$, в результате формируется совместный металлический раствор;

б) атомы хрома по механизму замещения легируют цементит, образуя фазу M_3C ;

в) восстановленные атомы хрома взаимодействуют с углеродом, образуя последовательно карбиды $\text{Cr}_{23}\text{C}_6 \rightarrow \text{Cr}_7\text{C}_3 \rightarrow \text{Cr}_3\text{C}_2$, которые могут растворять атомы железа (на разных стадиях).

Не может быть исключен вариант параллельной реализации указанных схем. Термодинамическое моделирование некоторых возможных вариантов организации процесса позволяет предположить схему последовательности превращений в изучаемой системе.

УДК. 662.6, 669.162.2, 536.46

В.В. Калинин¹, А.С. Черненко¹, Р.Д. Куземко²

1 – Одесский национальный университет имени И.И. Мечникова, г. Одесса

2 – Приазовский государственный технический университет, г. Мариуполь

ОСУЩЕСТВЛЕНИЕ ГОРЕНИЯ УГОЛЬНОЙ ПЫЛИ ПРИ ФАКЕЛЬНОМ ТОРКРЕТИРОВАНИИ ФУТЕРОВКИ КИСЛОРОДНОГО КОНВЕРТЕРА

К актуальным задачам создания ресурсо- и энергосберегающих технологий получения конвертерной стали с заданным комплексом свойств относится задача разработки и усовершенствования технологии горячего ремонта и надежного восстановления поврежденной стенки (футеровки) кислородного конвертера. Метод нагрева огнеупорного порошка в факеле горения пылеугольного топлива позволяет обеспечить короткое время между плавками. Однако его внедрение наталкивается на отсутствие четко сформулированных механизмов осуществления устойчивого факельного горения смеси угольной пыли и огнеупорного порошка (смесь доломита и кокса) в кислородосодержащей среде и отсутствие соответствующей физико-математической модели.

Целью работы является развитие теоретических основ вдувания и устойчивого факельного горения смеси угольной пыли и огнеупорного порошка взятого в из-

бытке; разработка физико-математической модели факельного горения ПУТ, динамики движения и разогрева частиц огнеупорного порошка в полости конвертера после выпуска из сопла торкрет-фурмы. Задачи работы: 1. проведение комплексного анализа механизмов вдувания, разогрева и горения пылеобразной торкрет-массы, процессов тепломассообмена и динамики движения фаз в полости кислородного конвертера; 2. исследование влияния параметров порошка торкрет-массы и газообразных компонент на процессы факельного горения угольной пыли с огнеупорным порошком; 3. определение характеристик размягчения и налипания на стенку конвертера размягченных частиц огнеупорного порошка.

В результате проведенных исследований для описания факельного горения коксовых частиц и нагрева частиц огнеупорного порошка разработана физико-математическая модель, представляющая систему жестких обыкновенных дифференциальных уравнений:

$$\frac{c_c \rho_c d_c}{6} \cdot u_c \frac{\partial T}{\partial x} = q_{ch} - q_g - q_w, \quad (T > T_g, T > T_w);$$

$$\frac{c_f \rho_f d_f}{6} \cdot u_f \frac{\partial T_f}{\partial x} = -q_{g,f} - q_{w,f}, \quad (T_f < T_g);$$

$$-\frac{1}{2} \rho_c \cdot u_c \frac{\partial d_c}{\partial x} = W_c, d_c(x=0) = d_{cb};$$

$$-\frac{1}{2} \rho_f \cdot u_f \frac{\partial d_f}{\partial x} = 0, d_f(x=0) = d_{fb};$$

$$c_g \rho_g u_g \frac{\partial T_g}{\partial x} = Q_4 W_{CO(IV)} + q_g \frac{S_c}{S - \pi d^3 N / 6 u_g} \frac{N_c}{u_g} +$$

$$+ q_{g,f} \frac{S_f}{S - \pi d^3 N / 6 u_g} \frac{N_f}{u_g}, T_g(x=0) = T_{g,b};$$

$$\begin{aligned}
-\rho_g u_g \frac{\partial Y_{O_2}}{\partial x} &= W_{O_2(IV)} + j_{O_2s} \frac{S_c}{S - \pi d^3 N / 6 u_g} \frac{N_c}{u_g}, Y_{O_2}(x=0) = Y_{O_2b}; \\
\rho_g u_g \frac{\partial Y_{CO_2}}{\partial x} &= W_{CO_2(IV)} + j_{CO_2s} \frac{S_c}{S - \pi d^3 N / 6 u_g} \frac{N_c}{u_g}, Y_{CO_2}(x=0) = Y_{CO_2b}; \\
\rho_g u_g \frac{\partial Y_{CO}}{\partial x} &= -W_{CO(IV)} + j_{COs} \frac{S_c}{S - \pi d^3 N / 6 u_g} \frac{N_c}{u_g}, Y_{CO}(x=0) = Y_{COb}; \\
\frac{\pi}{6} \rho_c d_c^3 \frac{\partial u_c}{\partial x} &= \frac{F_x u_g}{N u_c} - W_c \frac{S_c}{S}, u_c(x=0) = u_{cb}.
\end{aligned}$$

Главным для обеспечения устойчивого горения на срезе с торкрет – фурмы является начальная температура частиц торкрет-массы $T(x=0) = T_b$, $T_f(x=0) = T_b$, которая должна быть выше критической температуры зажигания [1]. Высокое значение температуры зажигания и затем устойчивого горения достигается при торможении кислородного и пыле-азотного потоков. По центральному каналу торкрет – фурмы подается торкрет-масса (смесь доломита 70 % и кокса 30 %, несущая среда – азот, давление 0.6 МПа), а по кольцевому – кислород под давлением 1.5 МПа. На выходе из фурмы эти два потока смешиваются и попадают в полость кислородного конвертера с высокой температурой и высоким содержанием угарного газа, являющиеся результатом предыдущего процесса выплавки стали.

На основе разработанной физико-математической модели в работе проводится анализ и показана при определенных параметрах возможность осуществления устойчивого горения угольной пыли в факеле и нагрева в нем частиц огнеупорного порошка до температуры размягчения, приводятся координатные зависимости концентраций газообразных компонент, температур и скоростей движения частиц торкрет массы.

Список литературы

1. *Kalinchak V.V. and Chernenko A. S. Combustion and Spontaneous Extinction of Porous Carbon Particles in Nitrogen – Oxygen Mixtures at Room Temperature // Combustion, Explosion, and Shock Waves. – 2013. – Vol 49, № 2. – P.196.*

С. В. Кравцов, А. Г. Мєшкова

Національна металургійна академія України, Дніпро

ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНА УТИЛІЗАЦІЯ ШЛАМІВ ГАЛЬВАНІЧНОГО ВИРОБНИЦТВА

Функціонування виробничих циклів підприємства машинобудівної промисловості, а також діяльність допоміжних виробництв супроводжується утворенням промислових відходів. Найбільш небезпечними промисловими відходами є шлами гальванічних покриттів, тому слід приділити особу увагу вивченню складу, властивостей та утилізації речовин що містяться в шламів.

При очищенні стічних вод гальванічного виробництва шлами, що утворюються, містять в перерахунку на суху речовину, %: 30-70 заліза, 5-10 хрому, 2-5 нікелю, 1-3 кальції, 1-2 магній і інші елементи.

Гальванічний шлам має III клас небезпеки, у його складі містяться гідроксиди важких металів, а сам шлам проявляє лужні властивості. При їх складуванні в шламо-накопичувачах окрім збитку довкіллю, одночасно втрачається велика кількість цінної сировини. Повторне використання вилучених з шламів матеріалів, навпаки, дозволяє у відчутних кількостях економити природні ресурси і понизити навантаження на довкілля.

Визначення можливості переробки шламу для розділу суміші гідроксидів металів і виділення очищених оксидів металів з можливістю їх подальшого використання в гальванічному виробництві в якості сировини є пріоритетним завданням сьогодення.

При виконанні дослідження були отримані наступні результати:

- встановлено хімічний склад гальванічного шламу, який утворюється на підприємстві, наведені дані про негативний вплив таких відходів на навколишнє середовище та здоров'я людей;
- зроблено висновок, що ліквідаційні методи знешкодження шламу не є раціональними і безпечними для навколишнього середовища, тому що неможливо усунути контакт відходу з атмосферним повітрям і поверхневими водами при ліквідації шламу в шламосховищах;
- показано, що питання поводження з відходами гальванічних виробництв залишається актуальним і пов'язаний з вибором методу їх переробки в товарні продукти з найменшими економічними витратами;

- для дослідження складу і властивостей гальванічного шламу були обрані методи вилучення металів за значенням рН середовища і за допомогою органічного екстрагента;

- показано, що при збільшенні рН середовища спостерігалось спільне осадження гідроксидів металів в діапазоні рН = 4,5-8,5, що означає неможливість використання методу для розділення металів;

Запропоновані наступні напрямки переробки відходів:

- вилучення цінних компонентів з шламу при значних концентраціях останніх. Комплексна технологія утилізації токсичних відходів гальванічного виробництва, забезпечує отримання товарної продукції і зниження шкідливої дії на довкілля.

- використання в якості добавок при виготовленні глазурованих покриттів для керамічних виробів. Після обезводнення гальваношлами можуть безпосередньо утилізувати у складі глазурі для стінних облицювальних плиток. Це дозволяє вирішити проблему утилізації токсичних відходів і скоротити собівартість отриманого покриття за рахунок зменшення витрати сировинних матеріалів.

Список литературы

1. Кличенко Р.Е., Чеботарева Р.Д., Пшинко Г.Н., Корнилович Б.Ю. Использование шламов гальванических производств в керамике // Химия и технология воды. – 2000. – № 6. – С. 26-29.

2. Тимофеева С. С., Баранов А.Н., Балаян А.Е., Зубарева Л.Д. Комплексная оценка технологий утилизации осадков сточных вод гальванических производств // Химия и технология воды. – 1991. – № 1. – С. 26-29.

УДК 669.18

О. С. Лантух, Л. С. Молчанов, Є. В. Синегін

Національна металургійна академія України, м. Дніпро

ФІЗИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СПЛИВАННЯ НЕМЕТАЛЕВИХ ВКЛЮЧЕНЬ У СТАЛЕРОЗЛИВНИХ КОВШАХ ІЗ ВДОСКОНАЛЕНИМ ПРОФІЛЕМ ФУТЕРОВКИ

Метою досліджень є визначення оптимального радіуса закруглення футерівки сталерозливного ковша на ділянці сполучення футерівки днища та стін, який забез-

печує найкращі умови для видалення НВ зі сталі. Досягнення поставленої мети здійснювали за рахунок методу фізичного моделювання на ізотермічній моделі. При проведенні моделювання враховано вплив на часточки НВ сили Архімеда та в'язкого тертя, а також конвекційних потоків, утворених в об'ємі розплаву при випуску сталі з печі в ківш.

За результатами підготовчого етапу авторами із використанням π-теореми [1] було встановлено, що процес спливання НВ після наповнення сталерозливного ковша можна описати критеріями Архімеда (**Ar**), модифікованим критерієм гомохронності (**Ho_m**) та лінійним симплексом (**D**):

$$Ar = \frac{\Delta\rho \cdot g \cdot d_{HB}^3}{\rho_p \cdot \nu_p^2}, \quad Ho_m = \frac{g \cdot \tau^2}{h_p}, \quad D = \frac{d_{HB}}{h_p}, \quad (1)$$

де ρ_p і $\Delta\rho$ – відповідно густина рідини і різниця густин рідини і НВ, кг/м³; g – прискорення вільного падіння, м/с²; d_{HB} – діаметр НВ, м; ν_p – кінематична в'язкість рідини, м²/с; τ – час, с; h_p – рівень рідини в ковші, м.

Весь експеримент складався з двох етапів. Спочатку авторами було проведено серію дослідів на прозорих моделях ковша різних розмірів зі звичайною формою робочого простору. За результатами першого етапу експерименту було визначено математичну модель у критеріальній формі

$$Ho_g = 42420 Ar^{-0,51} D^{-0,86}, \quad R^2 = 0,88, \quad (2)$$

яка дозволяє з достатньою для практичних розрахунків точністю визначати тривалість спливання групи НВ. Окрім цього шляхом регресійного аналізу було доведено незначущість тривалості випуску сталі з печі в ківш при величині числа гомохронності $1,3 \cdot 10^4 < Ho_m < 1,3 \cdot 10^5$. Також із використанням методики Маркова [2] було підтверджено гіпотезу про автомодельність лінійного симплексу в області $D < 0,01$. Це дозволяє використовувати при фізичному моделюванні непропорційні за розмірами моделі ковша і НВ за умови, що розмір часточок, які використовуються для імітації НВ, буде щонайменше у 100 разів меншим за рівень рідини у моделі ковша.

Забезпечивши умову $D < 0,01$, автори у другій серії дослідів вивчали вплив на тривалість спливання НВ радіуса закруглення при постійних величинах часу випуску та розмірів часточок і ємності. Для можливості перерахунку результатів фізичного

моделювання замість абсолютної величини радіуса закруглення використовували лінійний симплекс безрозмірного радіуса R

$$R = \frac{r_3}{r_k}, \quad (3)$$

де r_3 і r_k – радіус закруглення і днища ковша відповідно, м.

Отримані результати порівнювали з розрахованими за моделлю (2). За результатами обробки експериментальних даних отримано графік залежності тривалості спливання часточок від безрозмірного радіуса закруглення (рис.1). З графіку видно, що ефективність видалення НВ досягає свого максимум при величині безрозмірного радіусу близько 0,16.

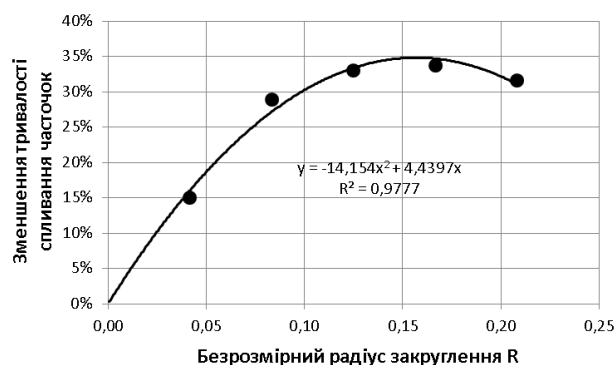


Рис. 1 Вплив закруглення днища ковша на тривалість спливання часточок

За результатами фізичного моделювання авторами доведено можливість підвищення ефективності видаленні зі сталі НВ впродовж витримки сталі в ковші перед розливанням. Визначено, що досягнення поставленої мети можливе при незначній модернізації конструкції футерівки сталерозливного ковша, а саме закруглення стику днища і стін із радіусом закруглення близько 16 % від радіуса днища ковша. Швидкість спливання НВ при цьому збільшується на 35 %. Запропоновані заходи дозволяють зменшити гранично низький розмір НВ, які видаляються з ковша приблизно на 31 %.

Перелік посилань

1. Фролов Ю.Г. Курс коллоидной химии. Поверхностные явления и дисперсные системы: Учеб. для ВУЗов [2-е изд., перераб и доп.] / Ю.Г. Фролов. – М.: Химия, 1988. – 464 с.

2. Марков Б.Л. Физическое моделирование в металлургии / Б.Л. Марков, А.А. Кирсанов. – М.: Металлургия, 1984. – 119 с.

УДК 669.054.8:534.122

В. А. Маслов, Л. А. Трофимова, Л. А. Дан

ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

ДИНАМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ТЕРМОГРАФЕНИТА В ГРАВИТАЦИОННО-ПАДАЮЩЕМ СЛОЕ

Термографенит – это перспективный композиционный сверхлегкий материал, обладающий уникальным комплексом электрофизических и теплоизоляционных свойств. В литературе известно направление получения термографенита путем термошокового нагрева соединения интеркалированного графита (СИГ), образующегося при обработке железографитовых дисперсных материалов. Термошоковый нагрев можно проводить в плотном либо гравитационно-падающем слое. Динамика движения частиц обрабатываемого материала в таком слое определяет в итоге конечный результат процесса [1-6].

Проведено сравнительное исследование скоростей движения частиц графита магнитного, соединений интеркалированного графита и термографенита в гравитационно-падающем слое в реакторе. Для электропроводных частиц был разработан электроконтактный датчик. При попадании частиц графита, СИГ и термографенита контакт замыкался и фиксировался быстродействующим самописцем. Для неэлектропроводных частиц был разработан пьезоэлектрический датчик, который фиксировал момент динамического касания частиц. Разность между двумя импульсами позволяла определить время движения частиц. Расстояние между положениями датчика отнесенное ко времени дает скорость движения частиц. Полученный линейный участок в системе «расстояние – время» свидетельствует о достижении постоянной скорости движения, т.е. скорости витания. Определены условия, при которых частицы обрабатываемых материалов достигают скорости витания. Установлено, что скорость витания частиц графита магнитного в среднем на 25 – 35 % выше, чем СИГ. При движении частиц СИГ в высокотемпературной зоне происходит их термическое расширение с резким увеличением объема частиц и образованием термо-

графенита. Расширение частиц СИГ происходит в направлении перпендикулярном графеновым слоям.

Получены обобщенные кривые по результатам термического расширения, которые показывают, что до температуры 250 °С практически не происходит термического расширения СИГ. Наиболее интенсивно температурный фактор проявляется в интервале температур 400 – 600 °С. В интервале температур 800 – 1000 °С термическое расширение СИГ завершается.

Проведенные исследования в интервале температур 300 – 1000 °С показали существенное снижение скорости витания частиц термографенита с 0,8 м/с (для СИГ) до 0,35 м/с (термографенита). При этом насыпная плотность материала снижается с 200 кг/м³ (для СИГ) до 6 кг/м³ для термографенита, что говорит о получении сверхпористых частиц.

Исследована динамика движения частиц исходного графитосодержащего материала до скорости витания для заданной температуры, что дает возможность оценить высоту реактора для получения термографенита. Полное термическое расширение СИГ в гравитационно-падающем слое достигается при высоте реактора 0,8 м.

Список литературы

1. Физико-химические свойства графита и его соединений / Черныш И.Г. и др. – К.: Наукова думка, 1990. - 200 с.
2. Исследование процесса окисления дисперсных железографитовых отходов с целью получения соединений интеркалирования графита / В.А. Маслов, Ю.П. Пустовалов, Л.А. Трофимова, Л.А. Дан // Вісник Приазовського державного технічного університету: Зб. наук. пр. – Маріуполь: ДВНЗ «ПДТУ», 2016. – Вип. 32. – С.48-53. - Серія: техн. науки.
3. А.с. СССР №767023, МКИ, СО 1В 31/04 Способ получения расширенного графита / А.Н. Антонов, В.А. Иванов, В.Д. Тиморин и др. – Опубл. 30.09.80.
4. *Махорин К.Е.* Вспучивание природного графита, обработанного серной кислотой / К.Е. Махорин, А.П. Кожан, В.В. Веселов // Химическая технология. – 1985. - №2. – с.3-6.
5. Вспучивание графита в плотном и взвешенном слоях / К.Е. Махорин, А.П. Кожан, В.В. Веселов, В.Н. Александров // Химическая технология. – 1987. - №2. – с.43-49.

С. Г. Мельник, В. И. Кучеров

Приазовский государственный технический университет, г. Мариуполь

**ПОЛИРЕАГЕНТНАЯ КОВШЕВАЯ ОБРАБОТКА ВЫСОКОПРОЧНОЙ СТАЛИ ДЛЯ
НОЖЕЙ НОЖНИЦ ХОЛОДНОЙ РЕЗКИ ПРОКАТА**

Легированная сталь марки 5Х2ГСВМ, применяемая для производства специальных ножей холодной резки проката, должна иметь особые прочностные свойства, обеспечивающие высокую твердость, износоустойчивость и сопротивление циклическим напряжениям. Требуемые повышенные прочностные свойства металла обеспечиваются содержаниями в нем углерода, марганца, ванадия, хрома молибдена и вольфрама.

Эксплуатационная износостойкость ножей из стали 5Х2ГСВМ кроме химического состава стали, концентрации и соотношения легирующих элементов зависит также от режимов термической обработки, которой подвергают эту сталь. Ножи выходят из строя в основном из-за сколов, трещин и повышенного износа режущей кромки. Как показывают исследования влияние на качество высокопрочной стали для ножей холодной резки проката оказывают внепечное рафинирование и модифицирование жидкой стали.

Достаточно эффективным способом повышения качества стали является ее полиреагентное рафинирование, включающее обработку металла твердыми шлакообразующими смесями (ТШС) в сочетании с продувкой металла в ковше нейтральными газами с целью снижения содержаний серы и кислорода в стали. Для приготовления ТШС использовали свежесожженную известь и плавленый шпат в массовом соотношении (3÷4):1 соответственно. Была проведена оценка рафинирующего влияния с учетом еще одной составляющей полиреагентного рафинирования стали, а именно процесса модифицирования металла кальцием из силикокальция СК 30, вводимого в металл порошковой проволокой одновременно с активным рафинировочным шлаком, сформированным из твердой шлакообразующей смеси (ТШС). По данным трех экспериментальных плавок степень десульфурации стали составила 46 – 60 %. В результате полиреагентного рафинирования ТШС и модифицирования силикокальцием СК 30 с расходом 1 кг/т стали усвоение кальция составило 8–18 %, а его концентрация в стали 0,0023 — 0,0041 %.

Полиреагентное внепечное рафинирование высокопрочной стали для ножей холодной резки проката оказало положительное влияние на показатели снижения загрязненности стали неметаллическими включениями (НВ). Так, по требовани-

ям нормативной документации максимально допустимый балл сульфидов не должен превышать 4,0, по данным анализа экспериментальных плавок максимальное значение составило 0,5, по оксидам соответственно 4,0 и 0,9, по силикатам – 4,5 и 3,5. Как и следовало ожидать, наибольшая эффективность от применения рафинирования и модифицирования стали ТШС и SiCa получена для сульфидов и оксидов, и в меньшей степени для силикатов.

По результатам исследований разработаны рекомендации, обеспечивающие следующий комплекс механических свойств стали для производства специальных ножей холодной резки проката: твердость HRC 53=54, предел текучести $\sigma_T = 1710-1820$ Н/мм², временное сопротивление $\sigma_B = 1820-1940$ Н/мм², относительное удлинение $\delta = 8-10$ %, ударная вязкость KCU = 32-37 Дж/см².

УДК 669.168

С. Г. Мельник¹, Д. А. Петриченко², Л. С. Тихонюк², В. И. Бондарь¹, А. В. Лагошин¹

1 – Приазовский государственный технический университет, г. Мариуполь

2 – ММК им. Ильича, г. Мариуполь

УЛУЧШЕНИЕ ПЛАСТИЧНЫХ СВОЙСТВ СУДОВОЙ СТАЛИ МОДИФИЦИРОВАНИЕМ

К судовым, в том числе корпусным, сталям предъявляются повышенные требования в связи со сложными условиями их эксплуатации. Поэтому необходимо разрабатывать технологические приемы улучшения качества этих сталей. Одним из возможных путей усовершенствования технологии производства сталей для судостроения является модифицирование металла в сталеразливочном ковше на выпуске из сталеплавильного агрегата щелочно-земельными металлами, в том числе кальций - содержащими реагентами.

Одним из таких материалов является карбид кальция CaC_2 . Особенность применения этого материала в качестве модификатора при выплавке стали заключается в необходимости обеспечения условий безопасности, в том числе исключения его контакта с влагой. С учетом этого, с целью улучшения качества металла и снижения затрат на его производство усовершенствовали технологию производства судовой корпусной стали марки А 36 (ГОСТ 5521), включающую комплексную ковшевую обработку металла с модифицированием.

Модифицирование производили в сталеразливочном ковше во время выпуска углеродистого полупродукта из 160-тонного конвертера присадкой карбида кальция CaC_2 фракцией от 5 до 30 мм, предварительно расфасованного в полиэтиленовые пакеты по 12,5 кг каждый. Частично CaC_2 присаживали в металл проволокой при помощи трайб – аппарата. Примерный химический состав CaC_2 был следующим, % по массе: 72,5 CaC_2 , 17,3 CaO , 0,4 MgO , 2,5 (Fe_2O_3 и Al_2O_3), 2,0 SiO_2 , 1,0 C , 4,0 – другие примеси.

Материалы присаживали в сталеразливочный ковш во время выпуска по действующей технологии. Модифицирование проводили в комплексе с внепечной обработкой стали в ковше продувкой аргоном и рафинированием твердыми шлакообразующими материалами. После подготовки стали к разливке усреднением химического состава и температуры в объеме сталеразливочного ковша ковш передавали на МНЛЗ и разливали методом «плавка на плавку» в непрерывнолитую заготовку.

Для определения влияния модифицирования стали А 36 на ее качественные показатели исследовали 2 варианта: 1 – опытный с модифицированием присадкой карбида кальция CaC_2 и 2 – сравнительный без модифицирования. Получены следующие основные результаты. Как и следовало ожидать, наблюдается значительное улучшение пластичных свойств стали в результате модифицирования. Так, среднее значение относительного удлинения проката δ из модифицированной стали А 36 по данным 75 опытных плавов составило 29,5 %, на сравнительных плавках 20,6%, то есть возросло более, чем в 1,4 раза. Среднее значение относительного сужения ϕ также увеличилось с 22,3 до 59,4 %, то есть в 2,6 раза. Ударная вязкость КСЧ при -60°C увеличивается с 0,30 до 0,84 МДж/м², при $+20^\circ\text{C}$, соответственно, с 1,01 до 1,49 МДж/м².

Установлена зависимость содержания кальция $[\text{Ca}]_{\text{г.с.}}$ в модифицированной стали А 36 от активности кислорода в металле на выпуске, измеряемой системой «Celox». При увеличении активности кислорода в стали от 400 до 1000 ppm содержание кальция в готовой стали снижалось от 75 до 50 ppm.

Подтверждено влияние модифицирования стали А 36 присадкой карбида кальция CaC_2 на процесс десульфурации стали. При активности кислорода в 900 ppm степень десульфурации стали η_s в результате модифицирования увеличивается в среднем на 8 %.

Применение комплексной внепечной обработки судовой стали А 36 с модифицированием карбидом кальция CaC_2 позволяет снизить затраты на производство заготовки из этой стали. Так, полученные зависимости степени усвоения алюминия от окисленности стали с учетом рассмотренных вариантов модифицирования показали, что применение CaC_2 в количестве 0,34 кг/т стали, увеличивает степень усвоения

алюминия на 8 %. Интегрированный поэтапный расход алюминия на производство судовой стали марки А 36 в результате применения комплексной внепечной обработки металла с использованием модифицирования карбидом кальция был снижен на 0,22 кг/т. Экономический эффект за счет экономии алюминия в результате модифицирования конвертерной стали А 36 карбидом кальция по результатам опытных плавов составил 1,76 грн/т.

УДК 669.168

**С. Г. Мельник¹, А. И. Троцан², В. И. Курпас³, Л. С. Тихонюк⁴, Б. Ф. Белов²,
И. Л. Бродецкий²**

¹Приазовский государственный технический университет, г. Мариуполь

²Институт проблем материаловедения НАН Украины, г. Киев

³Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, г. Киев

⁴ММК им. Ильича, г. Мариуполь

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОИЗВОДСТВА КОНВЕРТЕРНОЙ СТАЛИ С КОМПЛЕКСНЫМ РАСКИСЛЕНИЕМ

Результаты термодинамического и кинетического анализов продувки металла в конвертере технически чистым кислородом с содержанием последнего не менее 99,5 % в условиях выплавки стали «с передувом» подтверждают наличие сверхравновесного кислорода в получаемом полупродукте. Экспериментально определяемое количество сверх-равновесного, или свободного, кислорода в металле при помощи устройств для контроля окисленности стали УКОС – 1 и «Celox» составляет 0,140 – 0,060 %.

Для удаления кислорода, как в свободном виде, так и в соединениях, из жидкого металла производят раскисление металла добавками раскислителей. Основным раскислителем при производстве стали является алюминий, около 85 % которого «угорает», или безвозвратно теряется, при раскислении. Раскисление, как правило, выполняется присадкой первичного или вторичного алюминия в металл при выпуске из конвертера в сталеразливочный ковш. Эффективность раскисления определяется по остаточному содержанию алюминия в готовой стали.

Вместе с тем разработаны и применяются при выплавке стали другие процессы и материалы, позволяющие снизить затраты на раскисление стали и затраты на

производство стали в целом. Так, например, внепечное вакуумирование стали позволяет понизить содержание кислорода в стали на 40 – 50 %. Если при этом для раскисления стали использовать гранулированный алюминий, то суммарный расход алюминия на раскисление снижается более, чем в 2 раза. Несколько снижает содержание кислорода в металле внепечная обработка его продувкой нейтральным газом. Любое мероприятие, направленное на снижение содержания в стали неметаллических включений (НВ) на основе оксидов, может заменить или дополнить традиционное раскисление ее. Обработка стали в ковше активными шлаковыми расплавами, сформированными из жидких синтетических шлаков или твердых шлакообразующих смесей (ТШС), способствует удалению НВ из металлической в шлаковую фазу, смещая равновесие процесса образования НВ, в том числе оксидов, в сторону образования НВ. При этом в соответствии с принципом Ле-Шателье развивается процесс формирования новых оксидов с участием свободного кислорода, то есть процесс раскисления.

Разработаны и используются другие технологические приемы, связанные с применением материалов, частично замещающих алюминий. Так, использование при внепечной обработке Ca – содержащих материалов (SiCa , CaC_2), которые присаживают в жидкий металл в кусковом или порошкообразном виде с применением пневмокамерных питателей, или проволокой при помощи трайб – аппаратов, оказывает дополнительный раскисляющий эффект. Установлено, что при выплавке стали в 160 - т конвертерах внепечное модифицирование стали по технологии, включающей применение карбида кальция CaC_2 , увеличивает усвоение алюминия на 8 %.

Еще один дополнительный материал применяется при раскислении стали вместо алюминия. Ферроалюминий марки ФА-30 используют в качестве частичной замены вторичного алюминия марки АВ 87, в том числе при предварительном раскислении стали. В связи с различными плотностью алюминия АВ 87 и ферроалюминия ФА-30 и содержанием алюминия в ферроалюминии на уровне 28 – 30 % механизм раскисления по этим двум вариантам был различным. В жидкой стали плотностью порядка 7000 кг/м^3 ферроалюминий и алюминий ведут себя по-разному. Ферроалюминий ФА-30 плотностью $5500 - 6300 \text{ кг/м}^3$, всплывает до границы металла с жидким шлаком, плотность которого составляет 2900 кг/м^3 , медленнее, чем алюминий, имеющий плотность 2697 кг/м^3 . Ферроалюминий останавливается и не всплывает в шлаковом расплаве, растворяясь в металле и продолжая оказывать раскисляющее действие на сталь, тогда как алюминий продолжает всплывать в шлаковой фазе до контакта с газовой фазой, раскисляя шлак.

В зависимости от требований к качеству выплавляемой стали могут быть применены различные способы раскисления металла, в том числе не исключается комплексное их использование в сочетании с методами внепечной обработки стали.

УДК 666.91.311

А.О. Мусіна, О.О. Сігунов, Т.В. Кравченко, А.О. Гура

ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет», Дніпро

РОЗРОБКА ГАЗОГІПСУ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТАЛІЧНОГО КРЕМНІЮ ТА ФЕРОСИЛІЦІЮ

Сучасне життя суспільства без ефективного функціонування будівельного комплексу просто неможливе. Рівень його розвитку впливає на формування пропорцій і темпів розвитку галузей господарства, розміщення продуктивних сил і розвиток регіонів. Будівельний комплекс підтримує у належному стані обороноздатність країни, створює передумови для зростання виробництва в усіх галузях господарства.

Окремим сектором в будівництві є виробництво ніздрюватих бетонів, які на ряду з високими будівельними характеристиками мають високі теплозахисні властивості. Енергозберігаючий фактор будівель і споруд в умовах складної енергетичної ситуації в Україні є одним з найважливіших.

Перспективним напрямком в виробництві ніздрюватих бетонів є проектування складів в яких відсутній портландцемент. В цьому зв'язку розробка будівельних сумішей, які вміщують в своєму складі активований газоутворювачем або піноутворювачем будівельний гіпс є актуальною.

Метою даної роботи є розробка технології виготовлення газогіпсу з застосуванням різних газоутворювачів, в тому числі металічного кремнію та феросиліцію.

При виконанні роботи використовувались такі матеріали: гіпс будівельний марки Г-5, вапно ТОВ "Дніпровський завод будівельних матеріалів", алюмінієва пудра, хлорне залізо (FeCl_3), металічний кремній ($\text{Si}_{\text{мет}}$), сульфат алюмінію ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$), феросиліцій (FeSi_2), вапняк (CaCO_3), активатор (їдкий натр), ПАР.

Виготовлені композиції формували у вигляді кубів з ребром 7,07 см з тіста нормальної густини ($B/G=0,7$).

Перший етап розробки складів газогіпсових виробів був спрямований на пошук раціональної кількості хімічної добавки – уповільнювача тужавіння будівельного гіпсу. Необхідність вказаних досліджень викликана високою гідравлічною активністю газогіпсової композиції. Гіпсова композиція набирає певну міцність раніше початку процесу газоутворення, що не дозволяє отримати порувату структуру виробу зі зменшеною щільністю. В якості уповільнювача строків тужавлення використовували буру в кількості від 0,2 до 1 мас. % з шагом 0,2 %. З цією метою готувалося гіпсове тісто нормальної густини з різною кількістю хімічної добавки.

Аналіз результатів досліджень тужавіння будівельного гіпсу показав, що зі збільшенням вмістом бури до 0,6 мас. % усі строки тужавіння збільшуються відносно бездобавочного в'язучого на 17-30%.

Таким чином, для подальших досліджень по розробці складів газогіпсових виробів обрано вміст хімічної добавки в кількості 0,6 мас. %, що дозволить збільшити час процесу газоутворення при виготовленні виробів.

Другим етапом лабораторних досліджень спрямованих на отримання газогіпсових виробів, був підбір ефективного газоутворювача, який дозволив би отримати матеріал якомога меншої щільності з достатньою величиною межі міцності на стиск.

Дослідження спрямовані на можливість застосування Al-пудри в якості газоутворювача проводились на гіпсових композиціях, які містили 0,1; 0,2; 0,3 та 0,4 мас.% алюмінієвої пудри від кількості будівельного гіпсу. Визначення основних будівельно-технічних характеристик проводилося після повної сушки до постійної маси кубів в сушильній шафі при температурі 55°C.

Результати досліджень показали, що при збільшенні кількості Al-пудри від 0,1 до 0,4 мас.%, кількість порового простору збільшується в порівнянні з кількістю стінок і щільність композиції зменшується. Так, при вмісті Al-пудри:

- а) 0,1мас.% був отриманий конструкційний газогіпс ($\rho > 0,9 \text{ г/см}^3$);
- б) від 0,2 до 0,3 мас.% – конструкційно-теплоізоляційний ($0,9 < \rho < 0,5 \text{ г/см}^3$);
- в) 0,4 мас.% – теплоізоляційного призначення, ($\rho \leq 0,5 \text{ г/см}^3$).

Наступним етапом лабораторних досліджень була розробка поризованих виробів на основі гіпсового в'язучого, що містить в якості газоутворювача FeCl_3 . Температура води під час досліджень складала 65°C.

Аналіз результатів досліджень показав, що при збільшенні кількості FeCl_3 в композиції від 0,55 до 5,5 мас% інтенсифікується процес утворення вуглекислого га-

зу, що призводить до утворення більшої кількості порового простору. Результатом цього є зменшення щільності композицій. Так при вмісті FeCl_3 :

а) від 0,55 до 1,1 мас.% отримуємо газогіпс конструкційного призначення;

б) від 2,2 до 4,4 мас.% - газогіпс конструкційно-теплоізоляційного призначення.

в) вміст FeCl_3 більше 5мас.% дає можливість отримувати поризовані вироби на основі гіпсу, які можна віднести до теплоізоляційних.

Проведені лабораторні дослідження включали також розробку гіпсових виробів, які містили як газоутворювач металічний кремній.

Результати досліджень показали, що при використанні $\text{Si}_{\text{мет}}$ в якості газоутворювача були отримані композиції конструкційного призначення, оскільки їх щільність перевищувала $0,9 \text{ г/см}^3$. Лише склад IV, який містить максимальну із запропонованих кількість луку (вміст $\text{NaOH} = 8,75 \text{ мас.}\%$ від кількості гіпсу), має значення щільності $0,75 \text{ г/см}^3$, що дозволяє віднести його до конструкційно-теплоізоляційних ніздрюватих виробів (рис. 2,в). Міцність на стиск всіх композицій знаходиться у відповідності до Держстандарту на цей вид виробів.

Наступний етап досліджень був спрямований на встановлення ефективності застосування $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ в якості газоутворювача.

Аналіз результатів досліджень показав, що зі збільшенням вмісту в композиції сульфату алюмінію від 1,8 до 3,4 мас.%, кількість пор в зразках симбатно зростає.

Цей факт підтверджується і при аналізі результатів розрахунку щільності отриманих композицій: її значення зменшується з $0,91 \text{ г/см}^3$ для зразків складу №6 до $0,58 \text{ г/см}^3$ для зразків складу №1. Всі склади отриманого газогіпсу можна віднести за призначенням до конструкційно-теплоізоляційних ($0,9 < \rho < 0,5 \text{ г/см}^3$). Значення міцності для всіх композицій чітко корелюється з величинами щільності, проте має дещо знижені значення відносно Держстандарту України.

Останнім етапом лабораторних досліджень були випробування можливості застосування феросиліцію в якості газоутворювача. З цією метою були сформовані композиції різного складу, які містили різну кількість луку ($\text{NaOH} = 0,875 \div 4,38 \text{ мас.}\%$). При проведенні досліджень спостерігалось не досить якісне газоутворення під час проведення вспучування гіпсового тіста. За класифікацією ніздрюватих виробів всі отриманні в'язучі за призначенням можна віднести до конструкційного типу, оскільки його щільність була більша ніж $0,9 \text{ г/см}^3$.

Отже, під час досліджень була проаналізована можливість використання досить широкого спектру газоутворювачів при розробці газогіпсу. Встановлено, що всі матеріали, які застосовані в якості газоутворювача дозволяють поризувати структуру будівельного гіпсу і отримати ніздрюватий матеріал.

В якості газоутворювача, який найефективніше поризує структуру будівельного гіпсу, необхідно запропонувати алюмінієву пудру та хлорид заліза (III).

УДК 669.184

М. М. Недбайло, Є. М. Сігарьов, О. А. Чубіна

Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське

НАПРЯМКИ УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ГАРНІСАЖНОЇ ФУРМИ

Методика та результати визначення тривалості роздування шлакової ванни, яка є необхідною для нанесення на футерівку гарнісажного шару визначеної товщини, наведені у роботі [1]. Для організації перенаправлення частини потоку шлакових крапель на «проблемні» зони футерівки конвертера, спроектована та випробувана модернізована конструкція 10-ти соплової гарнісажної фурми з додатковими циліндровими соплами.

Для визначення характеру та ступенів впливу глибини шлакової ванни (H_B), висоти розташування наконечника фурми над ванною (h_Φ) та відстані між наконечником фурми та боковими циліндровими соплами (l_A) на розміри зони «зашлакованості» стовбура фурми (A_r), товщину шару шлаку на стінах конвертера (B_r) та ширину зони шлакового гарнісажу у «проблемних» зонах (C_r) спланований та реалізований повний факторний експеримент. Математичні моделі, отримані за результатами обробки експериментальних даних, у натуральних значеннях мають вигляд:

$$A_r = 80,895 - 37,835 \cdot H_B - 14,579 \cdot h_\Phi - 4,355 \cdot l_A + 8,622 \cdot H_B \cdot h_\Phi + 3,015 \cdot H_B \cdot l_A + 1,326 \cdot H_B \cdot l_A - 0,7739 \cdot H_B \cdot h_\Phi \cdot l_A \quad (1)$$

$$B_r = -0,642 + 0,43 \cdot H_B - 0,1476 \cdot h_\Phi + 0,1507 \cdot l_A - 0,067 \cdot H_B \cdot l_A + 0,0166 \cdot h_\Phi \cdot l_A \quad (2)$$

$$C_r = -2,5825 + 6,0825 \cdot H_B + 0,0825 \cdot h_\Phi + 0,168 \cdot l_A - 0,2475 \cdot H_B \cdot h_\Phi - 0,1675 \cdot H_B \cdot l_A \quad (3)$$

Встановлені особливості використання фурми (рис. 1) та показано, що визначальними факторами ефективності нанесення гарнісажного шару є глибина шлакової ванни та висота фурми над ванною. За результатами експериментів можна зробити висновок про доцільність удосконалення запропонованої конструкції гарнісажної дво-ярусної фурми у наступних напрямках: по-перше, заміна шестисоплового наконечника фурми на чотирьохсопловий із згрупованими у напрямках цапф зони соплами Лаваля збільшеного діаметру; по-друге, перехід до використання наконечника із звичайної сталі та переведення фурми на газове охолодження, яке позитивно себе показало в умовах ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг».

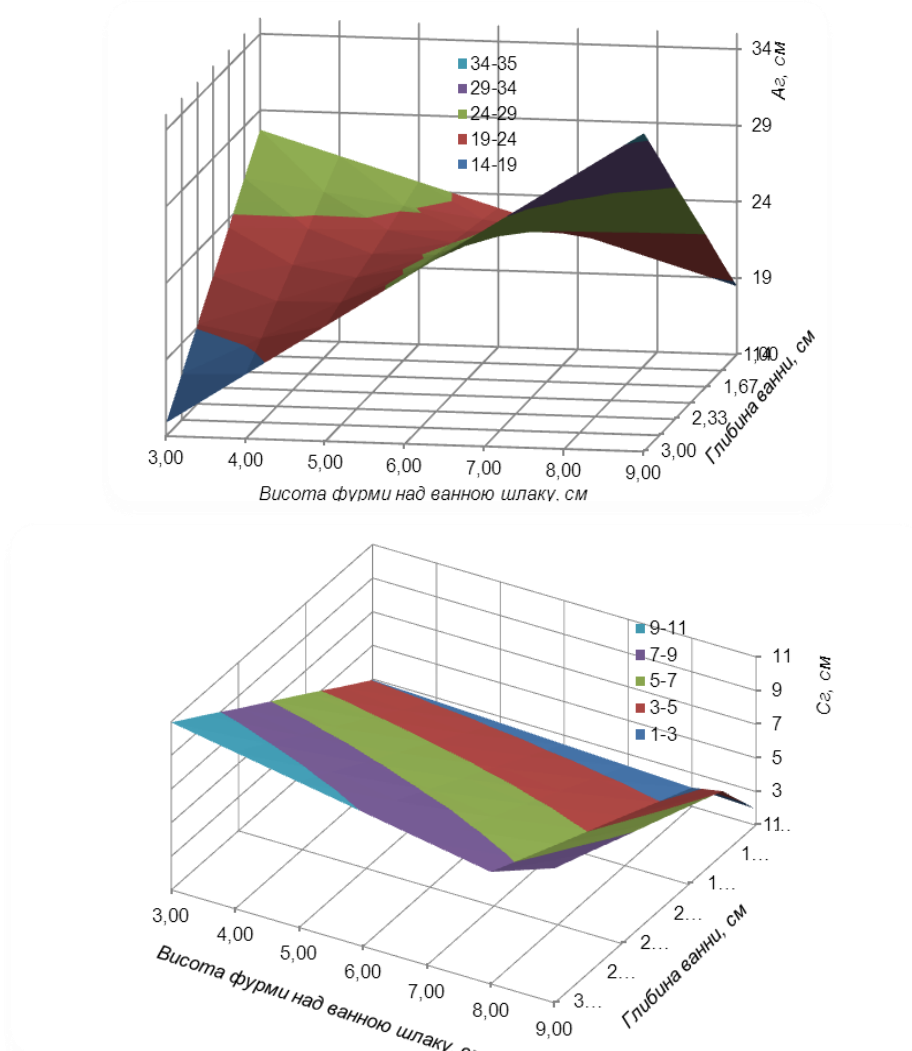


Рис. 1 – Залежність ширини зони покриття гарнісажем стовбура фурми та області «проблемних» зон при відстані між ярусами сопел у 80 калібрів

Література

1. Сигарев Е.Н., Низяев К.Г., Сигарев Н.К., Недбайло Н.Н., Байдуж Ю.В. /

Определение параметров раздувки шлаковой ванны на футеровку конвертера // Металлургическая и горнорудная промышленность. - 2016. - №3. - С. 31-36.

УДК 669.184

К. Г. Низяев¹, Є. Ю. Брагінець²

1 – Національна металургійна академія України, м. Дніпро

2 – ПАТ «Дніпровський металургійний комбінат», м. Кам'янське

ПОРІВНЯНИЙ АНАЛІЗ РОБОТИ ВОГНЕТРИВКОЇ ФУТЕРОВКИ КОНВЕРТОРА ПАО «ДМК» В РІЗНІ ПЕРІОДИ КАМПАНІЇ

На підставі даних кампанії по експлуатації вогнетривкого футерування конвертера №1 ПАО «Дніпровський металургійний комбінат» проведені статистична обробка і аналіз основних технологічних показників конвертерної плавки і їх вплив на тривалість експлуатації даного футерування. Результати наведені в табл.1.

Таблица 1 – Аналіз основних технологічних показників конвертерної плавки

Показник	Вогнетривна футеровка конвертера (періоди експлуатації)			
	Σ	початковий	середній	кінцевий
Доля лома в металозавалці, %	13,3	18,0	9,9	11,4
min	0	0	0,5	0
max	29,2	29,2	23,5	21,5
% пл з долею лома ≤10%	29,6	0,8	59,4	28,4
% пл з долею лома =10,1-15%	34,4	22,1	29,0	60,7
% пл з долею лома =15,1-20%	23,8	46,3	9,9	10,7
% пл з долею лома =20,1-25%	11,5	28,8	1,7	0,1
% пл з долею лома >25%	0,8	2,0	0,0	0,0
Доля рідкого чавуну в металозавалці, %	84,7	81,7	86,4	86,7
min	70,8	70,8	71,6	77,1
max	100	100	93,9	100
Доля твердого чавуну в металозавалці, %	1,9	0,3	3,5	1,8
min	0	0	0	0
max	12,5	5,7	12,5	4,4
Вміст (кінцевий) вуглецю, %	0,056	0,048	0,064	0,055
min	0,012	0,012	0,019	0,012
max	0,513	0,513	0,470	0,391
Температура (кінцева), °C	1660	1655	1662	1665
min	1587	1591	1596	1587
max	1745	1745	1720	1735
% пл з температурой (кінцева) ≥1700°C	3,34	1,58	4,51	4,04
Кількість додування, % пл	15,8	12,5	16,4	19,8
Расход кисню на продування, м3/тн	60,49	58,7	61,37	61,94
Расход кисню на додування, м3/тн	0,75	0,56	0,85	0,89

При порівняльному аналізі періодів роботи вогнетривкої футеровки слід зазначити:

1 період – початковий – футеровка нова і до стійкості 500 плавов відбувається її підвищений знос (високий % плавов з (MgO) менше 6%, підвищений в порівнянні з 2 періодом витрати доломіту, магнезійних гранул, доломітизованого вапна). Швидкість зносу футеровки складає 0.40мм/плавку. У другій половині 1 періоду знос футеровки знижується і процес стабілізується.

2 період - середній – футеровка працює в оптимальних умовах незважаючи на зниження якості чавуну і підвищення його долі в металозавалці. Швидкість зносу футеровки знижується і складає 0.10мм/плавку.

3 період - (кінцевий) - із-за погіршення якості чавуну дестабілізується дуттєвий і шлаковий режим ведення плавки, комплексна дія чинників на стан футеровки. Приймаються заходи по забезпеченню працездатного стану футеровки (збільшена доля рідкого чавуну в металошихті, збільшена витрата магнезійних матеріалів). Відбувається збільшення швидкості зносу футеровки і стабілізація його значення на рівні 0.15 мм/плавку за рахунок підвищення витрати магнезійних матеріалів на плавку.

За результатами статистичного аналізу за станом зносу футеровки збільшуються теплові втрати, що призводить до збільшення долі рідкого чавуну в металошихті. При цьому прямий вплив на процес робить якість вживаного рідкого чавуну - температура і зміст кремнію в чавуні. Заходи по відході за футеруванням конвертера, виражені у збільшенні витрати магнезійних матеріалів на плавку, призводять до дестабілізації теплового балансу плавки в цих умовах і деякого спотворення самого процесу (зниження вмісту вуглецю в металі на випуску, збільшення додувок металу).

УДК 669.184

Нізяєв К.Г., Чмиров А.О.

Національна металургійна академія України, м. Дніпро

ВПЛИВ ЗНОСУ ФУТЕРОВКИ НА ТЕХНОЛОГІЧНІ ПОКАЗНИКИ РОБОТИ КОНВЕРТОРІВ «ЕВРАЗ-ДМЗ»

Проаналізований масив плавов за кампанію конвертера, який склав 2004 плавки. Доля напівспокійних марок сталей склала більше 92 %. Залишок це спокійні, ни-

зьколеговані та леговані марки сталі. Основні результати роботи конвертора №1 наведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Основні результати роботи конвертора №1

Конвертер № 1		Кіл-ть плавок	2004
Дата	18.02.2015	Далмонд	
	11.06.2015		
Показатель	Сума	Середнє	
Чавун, т, т/пл	108672,5	54,23	
Лом, т, т/пл	17492,9	8,73	
Твердий чавун, т,т/пл	3365,90	1,68	
Основність, ед	3,21		
Вапно кг, кг/пл	6968037,00	3477,00	
MgO бр.,кг, кг/пл	99306,00	49,55	
Флюс,т, т/пл	0,0	0,00	
Скрап, т, т/пл	845,2	0,42	
CaF ₂ , кг, кг/пл	20222,0	100,90	
ЖСБ, т, т/пл	0,00	0,0000	
Доломит, т, т/пл	0,0	0,00	
Вапняк, кг, кг/пл	690774,0	344,69	
Час продувки, хв	20,09		

Частка напівспокійних марок сталей в обраних масивах зростала з 89 % - у першому періоді до 94% у третьому.

Хімічний склад чавуну залишався досить стабільним на протязі всієї кампанії. Лише вміст кремнію був вищий на 0,004-0,005 % був вищий в першому періоді.

Витрати чавуну на плавку на 400-500 кг вищі у третьому періоді ніж у першому та другому. Але, при цьому, у третьому періоді збільшилась і частка скрапу в метало завалці. Чітко спрямованої залежності в масиві плавок, який аналізувався, підвищення витрат чавуну по ходу кампанії не виявлено.

Найбільша тривалість продувки відзначена у першому періоді, як і кількість плавок зі скачуванням шлаку. Це свідчить про те, що у першому періоді конвертер

працює з перевантаженням, і оператор конвертора повинен зменшувати інтенсивність продувки.

Основність шлаку, як у спрощеному вигляді, так і з урахуванням вмісту MgO , поступово збільшується від першого до третього періоду, а вміст FeO в кінцевому шлаку, навпаки, зменшується у зворотному напрямку.

Залежності ступеня десульфурзації та дефосфорації від основності шлаку та вмісту в ньому FeO не спостерігається. Встановлені високі значення виходу придатного, який складає 91,4-91,73 %.

УДК 669.184.244.66

С. П. Пантейков, Л. П. Семерунина, Е. С. Пантейкова, О. В. Иогансон

Днепровский государственный технический университет, г. Каменское

РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВ ДЛЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ПОДОГРЕВА ДОННОГО ДУТЬЯ ДО ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР И ЕЁ РЕГУЛИРОВАНИЯ

В работах [1, 2] была установлена целесообразность подогрева донного дутья при комбинированной продувке кислородом и нейтральным газом и возможность осуществления нагрева газа до 280 °С и 480-500 °С соответственно. Однако, как показали исследования термонапряжённого состояния различных конструкций донных блоков для подачи в расплав нейтральных газов [3-5], их подогрев должен быть значительно выше и сопоставим с температурой расплава. Высокая температура дутья позволит избежать возникновения в теле донных блоков значительных термонапряжений в результате устранения воздействия холодного дутья на блок, особенно частей, которые находятся в соприкосновении с ванной или в непосредственной близости к ней. Кроме того, высокие температуры донного дутья позволят в процессе его подачи в расплав избежать образования настывов на торцах донных блоков, что устранит структурные разрушения огнеупора дутьевых устройств с отслаиванием значительных его частей на поверхности блоков, связанные с различной величиной коэффициента температурного расширения огнеупора и материала настывов [6].

Для подогрева донного дутья до 1300...1650 °С необходима разработка подогревающих устройств, так как известные устройства [7-10] не позволяют осуществлять высокотемпературный подогрев газа. С целью осуществления такого подогрева предложены новые конструкции конвертеров, позволяющие подогревать до высоких

температур газ, идущий на донное перемешивание расплава, а также осуществлять регулирование температуры донного дутья.

Список литературы

1. Разработка устройств для комбинированной продувки в 160-т конверторе с подогревом подаваемых через днище газов / А.Г. Чернятевич, Е.В. Протопопов, С.В. Кукса и др. // Известия вузов. Чёрная металлургия.— 1985.— № 10.— С.28-32.

2. О подогреве перемешивающего газа для комбинированной продувки конвертерной ванны / А.Г.Чернятевич, Е.В.Протопопов, В.Р.Джувага и др. // Известия вузов. Чёрная металлургия.— 1987.— № 8.— С.17-21.

3. Пантейков С.П., Семерунина Л.П. О термических напряжениях, возникающих в огнеупорном материале блоков СА-фурм конвертеров комбинированного дутья // «Литье. Металлургия. 2016»: Материалы XII и V Международных научно-практических конференций (24-26 мая 2016 г., г.Запорожье).— Запорожье, ЗТПП, 2016.— С.395-397.

4. Пантейков С.П., Семерунина Л.П. О снижении термонапряжений в конвертерном многоканальном донном фурменном блоке // «Проблеми математичного моделювання»: Матеріали Всеукраїнської науково-методичної конференції (25-27 травня 2016 р. м.Дніпродзержинськ).— Дніпропетровськ: Біла К.О., 2016.— С.53-57.

5. Пантейков С.П., Семерунина Л.П. Пути снижения термических напряжений, возникающих в огнеупорных блоках одноканальных донных дутьевых устройств конвертеров комбинированного дутья // «Стратегия качества в промышленности и образовании»: Материалы XII Международной конференции (30 мая-1 июня 2016 г., г.Варна, Болгария).— Днепропетровск-Варна, 2016.— С.205-209.

6. Пантейков С.П., Семерунина Л.П. Исследования процесса настыеобразования на торце многоканальных донных фурм при комбинированной продувке расплава в конвертере // Zbiór artykułów naukowych. Konferencji Międzynarodowej Naukowo-Praktycznej "Inżynieria i technologia. Współczesne problemy i perspektywy rozwoju" (Warszawa (PL), 30.01.2017-31.01.2017).— Warszawa: Wydawca: Sp. z o.o. «Diamond trading tour», 2017.— Str.28-30.

7. А.с. 1074907 СССР, МКИ С 21 С 5/42. Конвертер / А.Г.Чернятевич, Р.С.Айзатулов, Л.М.Учитель и др.— № 3426203/22-02; Заявл. 19.04.82; Опубл.23.02.84, Бюл. № 7.

8. А.с. 1245599 СССР, МКИ С 21 С 5/42. Конвертер (его варианты) / А.Г.Чернятевич, В.И.Баптизманский, Б.А.Кустов и др.— № 3758654/22-02; Заявл. 25.06.84; Опубл.23.07.86, Бюл. № 27.

9. А.с. 1348375 СССР, МКИ С 21 С 5/42. Конвертер / А.Г.Чернятевич, Е.В.Протопопов, Р.С.Айзатулов и др.— № 4068510/31-02; Заявл. 05.03.86; Оpubл.30.10.87, Бюл. № 40.

10. Предварительный подогрев нейтрального газа на конвертерах с комбинированной продувкой / А.Г.Чернятевич, Р.С.Айзатулов, Л.М.Учитель и др. // Бюллетень НТИ. Чёрная металлургия.— 1986.— № 11.— С.47-48.

УДК: 621.771.294: 621.785

О. Н. Перков¹, В. М. Кузьмичев¹, И. А. Вакуленко²

1 – Институт чёрной металлургии НАН Украины, Днепропетровский

2 – Национальный Университет железнодорожного транспорта, Днепр

СПЕЦИАЛЬНАЯ ТЕРМООБРАБОТКА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ КОЛЕС – КАК СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ИХ КОНСТРУКТИВНОЙ ПРОЧНОСТИ

Известно, что повышение усталостной прочности металла в отдельных элементах железнодорожного колеса значений обуславливает повышение надежности и конструктивной прочности его как единого целого.

Одним из основных требований к изготовителям колес является обеспечение наличия в металле обода железнодорожного колеса благоприятного уровня остаточных сжимающих напряжений. Определенное влияние на указанную характеристику оказывает градиент свойств металла по сечению диска и уровень упрочнения диска колеса. Ускоренное охлаждение отдельных участков приободной и приступичной части диска колеса будет способствовать достижению рационального распределения остаточных напряжений в диске и ободе колеса и, как следствие этого, повышению надежности колес в эксплуатации.

Материалом для исследования послужили железнодорожные колеса текущего производства ОАО НТЗ, выпускаемые в соответствии с требованиями ГОСТ 10791. Охлаждение приободной части диска осуществляли после термического упрочнения обода: нагрев колеса до температуры 850°C, выдержка для завершения структурных превращений, охлаждение только обода в течение 130 сек.

После завершения охлаждения обода осуществляли принудительное ускоренное охлаждение приободной части диска шириной 20 мм с полевой стороны ко-

леса длительностью, от 15 до 60 секунд и расходом воды $0,2 \text{ см}^3/\text{сек} \cdot \text{м}^2$, затем – окончательный отпуск всего колеса при 500°C , длительностью 2,5 ч.

Микроструктурные исследования проводили, используя методики количественной металлографии. Уровень остаточных внутренних напряжений определяли с использованием методик тензометрии.

Повышение степени переохлаждения металла происходит за счет увеличения длительности или интенсивности процесса охлаждения и сопровождается прогрессирующим измельчением перлитной составляющей с утончением и нарушением непрерывности сетки структурно свободного феррита. Так, если за счет указанного термического упрочнения приободной части диска прочностные характеристики растут: временное сопротивление разрыву возрастает от 940 Н/мм^2 до 1015 Н/мм^2 , а предел текучести увеличивается от 595 Н/мм^2 до 700 Н/мм^2 при пределе пропорциональности $380\text{--}415 \text{ Н/мм}^2$, то пластические свойства, против ожидаемого снижения, остались практически на уровне нормализованного состояния.

Кроме достигнутого, достаточно высокого комплекса свойств, важное значение имеет знак и распределение остаточных внутренних напряжений. Недостаточный уровень сжимающих напряжений в ободе колеса является браковочным признаком по требованиям ГОСТ 10791. Как показали исследования, использование описанных выше режимов избирательного ускоренного охлаждения диска колеса способствует формированию в относительно невысоких остаточных сжимающих напряжений, которые в радиальном направлении составляют значения $50\text{--}100 \text{ Н/мм}^2$.

Правомочность использования указанной технологии упрочнения обода и диска колёс была подтверждена результатами усталостных испытаний опытных железнодорожных колес на специальном исследовательском оборудовании. Так, использование спрейерного охлаждения приободной части диска колеса в течение 40–60 сек. при указанном расходе охладителя, обеспечивает увеличение усталостной прочности примерно на 30%, по сравнению с колесами текущего производства.

На основании проведенных исследований показано, что, используя охлаждение диска колеса, можно достигнуть повышение комплекса механических свойств металла в диске без снижения уровня остаточных напряжений в ободе колеса.

УДК 669.168.004.12.001.8

А. Ф. Петров, Л. А. Головки, Ю. М. Лихачев, Н. Е. Ходотова

Институт черной металлургии им. З.И. Некрасова НАН Украины, Днепр

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СТАНДАРТНЫХ МАРОК ФЕРРОМОЛИБДЕНА

Ферромolibден широко применяется при выплавке коррозионностойких хромоникелевых сталей с азотом (15X16H2MBΦБA), легированных рессорно-пружинных конструкционных сталей (12XHMДΦ, 30XHMΦA, 40XГHМ), инструментальных (11X4B2MΦ3C2, P12Φ5M, P12Φ2K8M3), жаростойких, жаропрочных и других групп. В соответствии с действующим стандартом ГОСТ (4759-89) ферромolibден производится шести марок с содержанием в сплаве высшей марки ФМо60 не менее 60 % Мо, а марки ФМо50 не менее 50 %.

Процесс растворения ферросплавов во многом определяет структуру и свойства обрабатываемого металла, а также технико-экономические показатели и себестоимость конечной продукции. Прогнозирование условий взаимодействия ферросплавов с жидким металлическим расплавом невозможно без знания их важнейших физико-химических и теплофизических характеристик. Существующие экспериментальные методы определения вышеперечисленных свойств ферросплавов трудоемки и ограничены техническими возможностями используемого оборудования и, главное, ввиду химической и структурной неоднородности анализируемых материалов-добавок не всегда удается получать адекватные результаты. Поэтому особый научный и практический интерес представляют расчетные методы определения этих свойств, позволяющие прогнозировать составы ферросплавов с оптимальными характеристиками.

В настоящей работе для прогнозной оценки теплофизических свойств ферромolibдена авторы рассматривают возможности использования разработанной методики, основанной на описании строения и свойств многокомпонентных расплавов и твердых растворов [1]. Информация о составе сплавов закодирована в виде параметра Z^y , являющегося его электронным химическим эквивалентом, структурного параметра d , электрохимического параметра $\text{tg}\alpha$. Избыточные параметры ΔZ^y и Δd , учитывают микрон неоднородность структуры соответствующих расплавов.

Ниже приведены уравнения, записанные в терминах модельных параметров, для расчета по химическому составу удельной теплоемкости C_p , Дж/кг·К, теплопроводности λ , Вт/м·К, теплоты плавления $Q_{пл}$, кДж/кг, коэффициента температуропроводности $\alpha \cdot 10^2$, м²/с. при температуре 1000°С.

$$C_p = 2340,9 - 179,8Z^y - 528,4d \quad r=0,95 \quad (1)$$

$$\lambda = 488,6Z^y + 54,3d + 3408,5tg \alpha - 552,7\Delta Z^y - 925,87 \quad r=0,95 \quad (2)$$

$$\alpha \cdot 10^2 = 0,65Z^y + 2,1d - 4,12\Delta d - 4,65 \quad r=0,92 \quad (3)$$

$$Q_{пл} = 798,3 - 227,3d + 1981,8tg \alpha + 425,9\Delta d \quad r=0,97 \quad (4)$$

С применением уравнений (1–4) осуществили прогнозную оценку теплофизических характеристик ферромolibдена ФМо60 (табл. 1) с содержанием: Мо - 58,1%, Si - 1,37%, С - 0,15%, W - 0,24%, Cu - 0,13%, S - 0,08%, Р - 0,064%.

Таблица 1 – Сопоставление рассчитанных и экспериментальных [2] значений теплофизических свойств ферромolibдена марки ФМо60.

Марка ферросплава	C_p , Дж/(кг·°С)	$Q_{пл}$, кДж/кг	λ , Вт/(м·°С)	$\alpha \cdot 10^2$, м ² /с
ФМо60	443,0/416,3	275,6/276,1	136,7/131,2	3,46/3,00

*Числитель и знаменатель – соответственно экспериментальные и расчетные значения

Список литературы

1. Приходько Э.В., Петров А.Ф. Физико-химические критерии для оценки степени микронеоднородности металлических расплавов / Э.В. Приходько, А.Ф. Петров // Металлофизика и новейшие технологии. – 1998. – т.20. - №7. – С. 64-74.
2. Вихлевщук В.А. Комплексное исследование свойств легирующих и микролегирующих материалов / В.А. Вихлевщук, В.С. Игнатъев, Ю.Н. Омесь, А.В. Кекух // Теория и практика металлургии. – 1999. – № 3. – С. 29 – 30.

УДК 669.17.046.517В:669.11-154.001.5

**В.П. Піптюк¹, Д.Ю. Кабаков², К.С. Красніков², С.В. Греков¹, О.П. Петров¹,
Г.О. Андрієвський¹, І.Р. Снігура¹**

1 – Інститут чорної металургії НАН України, м. Дніпро

2 – Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ПЛАВЛЕННЯ ТА ЗАСВОЄННЯ ТВЕРДИХ ДОБАВОК ЗАЛІЗО-ВУГЛЕЦЕВИМ РОЗПЛАВОМ

Дослідження процесів плавлення та засвоєння твердих добавок розплавом автори цієї роботи виконують за допомогою сучасних методів математичного, фізико-хімічного та фізичного моделювання, працюють над вдосконаленням існуючих способів вводу добавок. а також здійснюють дослідно-промислові експерименти для уточнення, перевірки і підтвердження власних розробок стосовно умов їх використання на різних етапах ковшової обробки сталі, з метою подальшого впровадження їх в металургійне виробництво.

Чисельні дослідження гідродинамічного, теплового стану ковшових ванн різної ємкості перед вводом добавок та процесів їх плавлення і засвоєння виконуються з використанням програмних продуктів, розроблених в ДДТУ по вихідним даним ІЧМ НАНУ.

З врахуванням результатів чисельних досліджень, що стосувались оцінки впливу тепло-, масообмінних процесів в ковшовій ванні (250т) на ефективність обробки металу на установках ківш-піч, виконали і в промислових умовах застосували технічні та технологічні розробки, які дозволили покращити умови експлуатації сталерозливних ковшів (стійкість футерівки зросла на 11-19%), зменшити витрати енергоносіїв (витрати електроенергії на 1,0 - 3,8%, аргону - на 8,0 - 18,4%) та підвищити якість металу (забрудненість неметалевими включеннями знизилась з 3-5 до 1-2 балів).

Для врахування умов використання твердих добавок на етапі випуску плавки з плавильного агрегату тривають дослідження по визначенню особливостей гідродинаміки та теплового стану ванни ківша, що наповнюється. Здійснюються експерименти по фізичному моделюванню процесів обробки металу в ковші.

Важливою умовою ефективного використання твердих добавок в процесах ковшової обробки металу є обрання раціонального способу їх здійснення.

Обов'язковим і необхідним при вивченні досліджуваних процесів методами моделювання є знання їх фізичних і теплофізичних властивостей добавок. З врахуванням того, що в літературі характеристики більшості феросплавів відсутні, а наявна кількість публікацій достатньо обмежена і має суперечливий характер, особливу актуальність набувають питання що до їх прогнозування. В ІЧМ НАНУ розроблена і використовується теоретична методика оцінки основних характеристик феросплавів. Методика базується на концепції фізико-хімічного моделювання процесів міжатомної взаємодії в розплавах і розглядає їх як хімічно єдині системи. Застосування фізико-хімічного моделювання дозволило теоретично оцінити властивості різних марок стандартних феросплавів, а порівняння їх з наявними експериментальними даними свідчить про достатню відповідність і можливість використання. Завдяки цьому здійснюються чисельні дослідження ефективності використання феросплавів в процесах ковшової обробки металу на різних етапах виробництва сталі та чавуну.

Досліджено вплив різного вмісту ведучого елемента в межах марочного складу в грудкових феросплавах (фракції 25, 50 і 100мм) ФМн78, МнС17, ФС65 на тривалість їх плавлення для умов використання на УКП різної потужності в залежності від витрат аргону на продування ванни. З метою підвищення технологічності використання при виробництві сталі дрібнофракційного (-5мм) вторинного сировинного продукту виробництва фракціонованого феросиліцію ФС65 запропоновано його споживання у вигляді брикетів з обважнювачем. Виконано прогнозування властивостей нестандартних Mn-, Si-, V-, Nb-, Al-, Ti-вмістких феросплавів з поліпшеними технологічними характеристиками для легування і мікролегування сталі. Проведена перевірка адекватності результатів досліджень ефективності використання феросплавів на основі комп'ютерного моделювання і промислових експериментів. Узгодженість розрахункових і експериментальних даних свідчить про їх достатню збіжність та адекватність.

Здійснюються оптимізаційні дослідження різних способів науглецювання в ковші (грудковими добавками, порошковим дротом, інжекцією порошкоподібного матеріалу) супутнього залізо-вуглецевого продукту для отримання товарного та переробного чавуну в умовах титаномagneїєвого виробництва. Тривають дослідження по розробці раціональних режимів і способів вводу твердих феросплавів в процесах ковшової обробки сталі з метою підвищення ефективності їх використання. Розробляються склади нових технологічних нестандартних феросплавних систем, виконуються дослідження впливу порційного (кількісного) фактора на умови плавлення і ефективність використання феросплавів. Оцінка рівня засвоєння феросплавів залізо-

вуглецевим розплавом здійснюється з урахуванням термодинамічного стану шлако-металевої системи та експериментально досліджених даних по тривалості плавлення і розчинення твердих добавок в залізо – вуглецевих розплавах з різним вмістом вуглецю.

УДК 669.184

Д. В. Пушкар'юв¹, А. Н. Стоянов¹, К. Г. Нізяєв¹, Є. В. Синегін¹, Л. С. Молчанов¹,
З. Табатадзе²

1 – Національна металургійна академія України, м. Дніпро

2 – Руставський металургійний завод, Грузія

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИДАЛЕННЯ НЕМЕТАЛЕВИХ ВКЛЮЧЕНЬ ПРИ ПРОДУВЦІ СТАЛІ В КОВШІ НЕЙТРАЛЬНИМ ГАЗОМ

Аналіз науково-технічних даних технологій обробки сталі в ковші нейтральним газом з метою рафінування показав, що ефективність видалення неметалевих включень може коливатись в дуже широкому діапазоні від 10 до 50 %. Тому в даній роботі приведені дослідження, які оцінити ефективність технології продувки сталі в сталерозливному ковші нейтральними газом.

Пропонується два варіанта підвищення ефективності видалення неметалевих включень (НВ) при обробці сталі інертним газом в ковші: I – без змін конструкції ковша лише за рахунок підвищення витрат аргону; II – встановлення двох додаткових продувочних пристроїв.

На рис. 1 приведені дані розрахунку зменшення кількості неметалевих включень за описаними вище варіантами.

Аналіз отриманих даних вказує, що в першому варіанті обробки збільшені витрати аргону приводить до підвищення ефективності флотації НВ за рахунок збільшення об'єму борботажної зони, це в свою чергу забезпечує збільшення ймовірності зіткнення неметалевого включення з бульбашкою і подальшого виносу його в зону асиміляції шлаковим розплавом. При використанні додаткових продувочних пристроїв показник ефективності видалення (НВ) зріс в рази 1,83 в порівнянні з першим варіантом обробки.

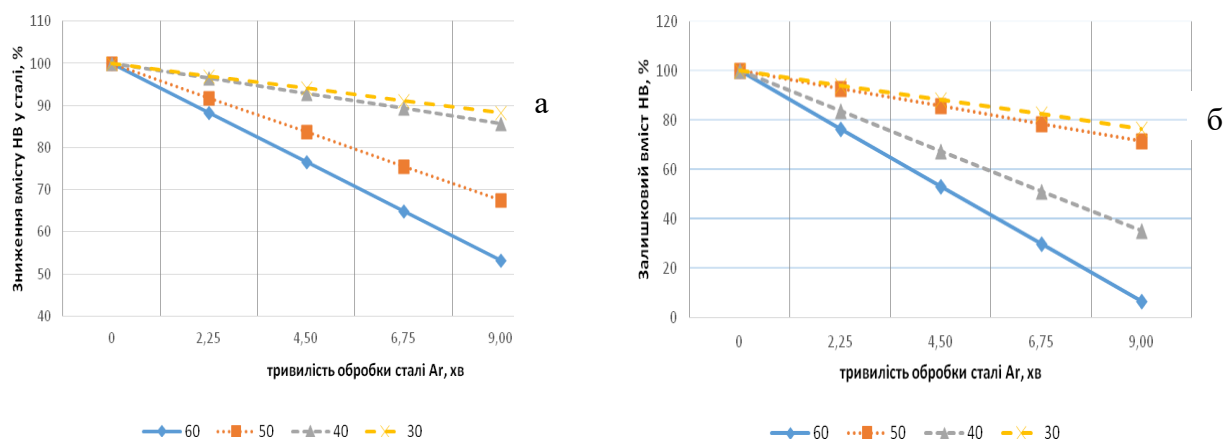


Рис.1 Вплив тривалості продувки і витрат аргону на вміст неметалевих включень в сталі: а – I варіант б – II варіант (60, 50, 40, 30 – витрати аргону, м³/ч)

На основі практичних та теоретичних положень визначені умови підвищення ефективності видалення неметалевих включень при продувці аргонном сталі в ковші. Так, найбільш високі показники рафінування сталі досягаються при розмірі бульбашки 1,5-2,5 мм і розмірі НВ при розмірі 50 мкм. Показано, що збільшення кількості продувочних пристроїв забезпечує збільшення ефективності рафінування сталі в 1,83 рази при витратах аргону на рівні 0,85-1 м³/хв. на дуттевий пристрій.

УДК 669.162.261.3

В. Б. Семакова, В. В. Семаков, В. С. Кибиш, И. И. Харченко

Приазовский государственный технический университет, Мариуполь

МОДЕЛИРОВАНИЕ РУДНЫХ НАГРУЗОК ПО РАДИУСУ ДОМЕННОЙ ПЕЧИ ПРИ ЗАГРУЗКЕ ЦИКЛОВ С РАЗДЕЛЬНЫМИ РУДНЫМИ ПОДАЧАМИ

Совершенствование доменной плавки приводит к снижению расхода кокса на выплавку чугуна и уменьшению высоты так называемых «коксовых окон» в столбе шихтовых материалов, что требует изменения систем загрузки доменных печей (ДП), способствующих формированию высокого слоя кокса.

При помощи математического моделирования получено распределение слоев кокса (К) и агломерата (А) для циклов загрузки ДП полезным объемом 2000 м³ (рис. 1), состоящих из двух подач АААА↓КККК↓ (а) и ААА↓АКККК↓ (б).

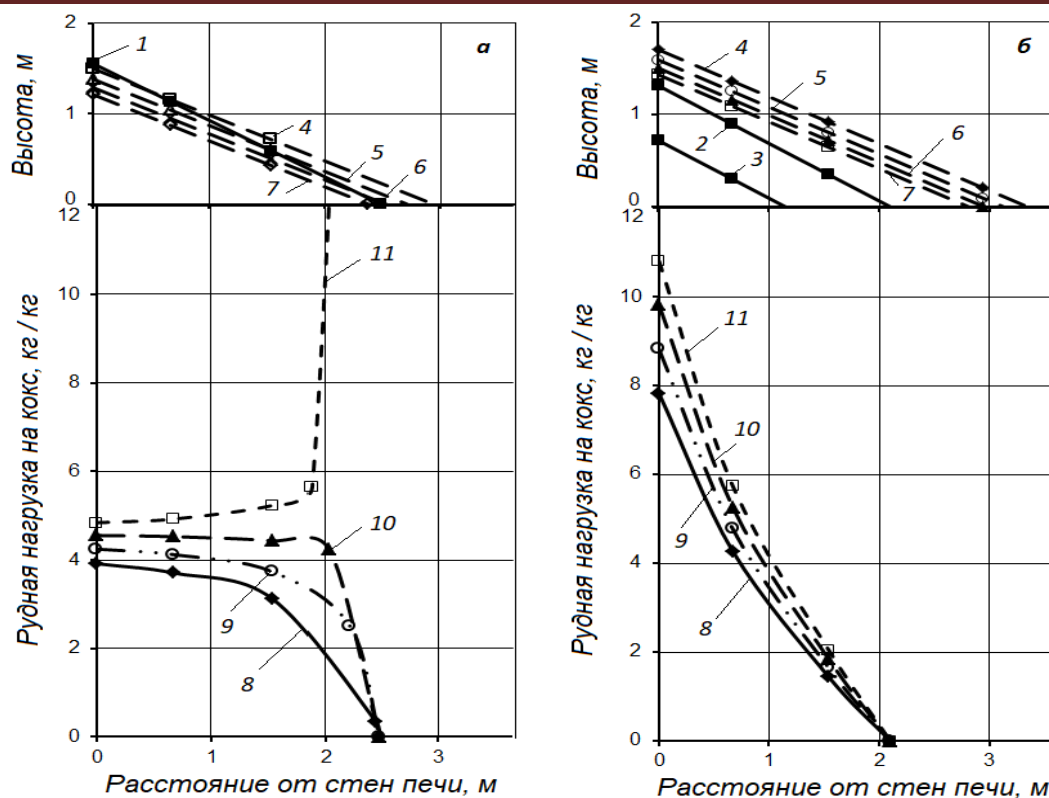


Рис. 1 – Распределение слоев агломерата (1-3), кокса (4-7) в циклах двух подач: а – AAAA↓KKKK↓, б – AAA↓AKKK↓, и радиальных рудных нагрузок (РН) при общей рудной нагрузке в цикле: 8 – 3,5 кг / кг; 9 – 4,0 кг / кг; 10 – 4,5 кг / кг; 11 – 5,0 кг / кг

В данных циклах подач в ДП одновременно загружаются четыре скипа К, что обеспечивает формирование его высоких слоев. Для моделирования приняты следующие условия: углы естественного откоса кокса 27° и агломерата 32° , пологая поверхность засыпи, расположение гребня материалов у стен, – изменение которых приведет к перераспределению шихты по сечению печи.

Результаты моделирования цикла загрузки, состоящего из увеличенных раздельных порций А и К (а) показали, что при повышении РН в цикле из двух подач AAAA↓KKKK↓ с 3,5 до 5,0 кг / кг РН у стен колошника увеличивается с 3,9 до 4,8 кг / кг. При РН менее 4,5 кг / кг в цикле частные РН снижаются в направлении от стен печи к её оси, где происходит формирование осевой коксовой отдушины. При рудной нагрузке в цикле подач, равной 4,5 кг / кг, частные РН в периферийной и промежуточной зонах выравниваются, резко снижаясь к оси печи, где образуется слой смешанных компонентов доменной шихты. При РН в цикле подач, равной 5,0 кг / кг, частные РН в периферийной и промежуточной зонах также выравниваются, а затем резко повышаются к центру печи, заполненному рудными материалами, т. е. при по-

вышенной РН в цикле из двух подач АААА↓КККК↓ создаются условия для развития периферийного газового потока, снижающего экономичность доменной плавки.

Для увеличения РН у стен печи необходимо изменять порядок загрузки материалов в цикле из двух подач. Применение системы загрузки ААА↓АКККК↓ также позволяет формировать высокие слои кокса в столбе шихты за счет одновременной подачи в печь 4 скипов К. Загрузка трехскиповой раздельной подачи А способствует сосредоточению основной массы рудной части шихты в периферийной и промежуточной зонах. Загрузка в печь агломерата первым скипом пятискиповой подачи дополнительно подгружает рудными материалами периферийную зону, а загруженный следом кокс перераспределяется ближе к центру печи. Таким образом, при РН в цикле ААА↓АКККК↓, равных 3,5 – 5,0 кг / кг, рудная часть смещается к стенам печи, а кокс – к оси печи, что приводит к снижению высоты слоев кокса в периферийной и промежуточной зонах, а также формированию коксовой отдушины в центре печи. При повышении РН в цикле из двух подач с 3,5 до 5,0 кг / кг РН у стен увеличивается с 7,8 до 9,8 кг / кг, плавно снижаясь к центру печи. Такое перераспределение материалов способствует формированию осевого газового потока, характеризующегося более высокой степенью использования восстановительной способности печных газов.

УДК 669.162.267

Е. Н. Сигарев, Д. С. Кочмола, К. И. Чубин

Днепропетровский государственный технический университет, г. Каменское

МОДЕЛИРОВАНИЕ ШЛАКОВОГО РЕЖИМА КОВШОВОГО РАФИНИРОВАНИЯ ПЕРЕДЕЛЬНОГО ЧУГУНА

На основании результатов анализа химического состава покровных шлаков, отобранных в серии высокотемпературных экспериментов по отработке различных способов [1-3] комплексного рафинирования передельного чугуна по кремнию и сере (рис.1) можно отметить следующее.

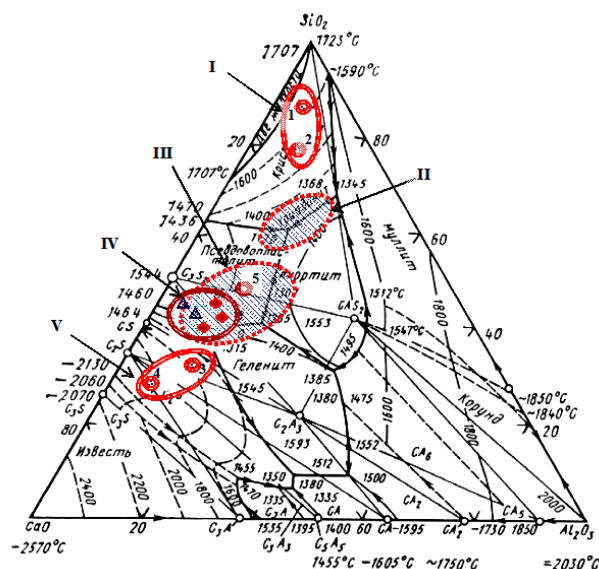


Рис. 1 - Состав шлаков, сформированных в пределах $II_{p.3.}$ при отработке различных вариантов [1-3] ковшового удаления Si и S из чугуна

По ходу рафинирования, на границе с / р.з. формируется шлак с более 20% (FeO+MnO) и пониженным межфазным натяжением. С переходом к тугоплавкому $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ при основности 1,0-1,5, в средних горизонтах ванны ($II_{\text{р.з.}}$) при наличии в каплях шлака CaO и $a_{\text{FeO}}=0,3-0,4$ освободившийся кислород расходуется на окисление примесей расплава (Si, частично C и P) и вводимого [1] в расплав Al. С повышением основности до 1,87 шлак входит в область $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ (V, рис. 1). Легкоплавкие шлаки с вязкостью ($>2,5$ Па·с) расположены в области II (рис. 1). В области III (рис. 1) шлаки с поверхностным натяжением 450-500 МДж/м² не склонны к резким колебаниям температуры кристаллизации, что соответствует требованиям [1-3]. Состав шлаков, формирующихся как при обескремнивании расплава вдуваемым кислородом, так и при десульфурации Mg (в кварцевом тигле) отвечают области I (рис. 1) составов с высокой вязкостью и температурой плавления.

Вдувание смеси CaO и Al (9:1) в потоке кислорода привело к смещению состава формируемых шлаков в зону повышения концентрации $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (область V, рис. 1) и снижению показателей рафинирования расплава (здесь и далее: степень удаления Si и S 76,3% и 80,4% соответственно). При вдувании вглубь расплава доломитизированной CaO с присадкой Al состав шлаков переместился в область III (рис. 1), что положительно отразилось на показателях (70,9% и 86,2% соответственно). Точки, отвечающие составам шлаков, полученных при рафинировании расплава по варианту предварительного ввода в расплав Al и последующего вдувания CaO с

Mg (7:1), также располагаются в области III (рис. 1) шлаков с пониженной температурой плавления (1265-1400⁰С) и вязкостью.

При предварительной присадке и последующем вводе в расплав Al по ходу вдувания только доломитизированной СаО (вар. 1) и смеси последней с диспергированным Mg (6:1) (вар. 2) составы шлаков удалось сместить ближе к границе области III и частично переместить в область IV с пониженной температурой плавления (1140-1265⁰С) и вязкостью с показателями (70,2% и 87,3% вар.1 и 74,5% и 87,3% вар. 2 соответственно).

Список литературы

1. *Сигарев Е.Н.* Разработка комплексной технологии ковшевого рафинирования чугуна с вдуванием десульфураторов через две фурмы / Е.Н. Сигарев, А.Г. Чернятевич, К.И. Чубин, А.В. Березина // Теория и практика металлургии. – 2008. - №2. - С. 3-8.
2. Патент України № 6699. Спосіб попереднього рафінування чавуну. Чернятевич А.Г., Сігарьов Є.М., Кравець А.М., Селищев В.М. Опубл. Бюл.№5. – 2005 р.
3. *Сигарев Е.Н.* Комплексная ковшевая обработка чугуна перед кислородно-конвертерной плавкой. Теория и практика производства чугуна: Труды Международной научно-технической конференции - г. Кривой Рог, КГТМК «Криворожсталь», 2004. - С. 442-446.

УДК 669.147

**Є. В. Синегін, Л. С. Молчанов, Д. О. Мусунов, С. В. Журавльова, В. О. Гіляк,
Д. В. Мажура, А. Д. Усманов, В. В. Черевань**

Національна металургійна академія України, Дніпро

ФІЗИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЗАТЯГУВАННЯ АРГОНУ В КРИСТАЛІЗАТОР МБЛЗ ПРИ ПРОДУВЦІ ЧЕРЕЗ СТОПОР У ПРОМКОВШІ

Використання інертного газу для продувки рідкого металу знайшло широке застосування практично на кожному етапі сталеплавильного переділу: у кисневих конвертерах при комбінованій продувці, в агрегаті "ківш-піч", вакууматорах та інших установках комплексної обробки сталі. При розливанні на МБЛЗ продувку інертним газом (звичайно аргоном) використовують у промковші для видалення неметалічних

включень і розчинених газів. При розливанні заготовок великого перерізу з розливанням під рівень застосовують також вдування аргону в заглибний стакан через порожній стопор-інжектор. Це дозволяє істотно знизити вторинне окислювання металу за рахунок усунення підсмоктування повітря в зоні промківш - заглибний стакан.

Однак, як показує практика, при надмірному тиску газу бульбашки аргону можуть проникати в кристалізатор на істотну глибину й, не встигаючи спливати, лишаються під кіркою заготовки. Крім того, надмірне потрапляння газу в кристалізатор може призводити до утворення хвиль на дзеркалі металу в кристалізаторі й, як наслідок, порушувати умови формування кірки.

Вивчення граничних умов, при яких відбувається затягування газу в кристалізатор здійснювали методом фізичного моделювання з подальшою статистичною обробкою експериментальних даних. Відповідно до проведеного раніше дослідженнями [1] для опису процесу витікання рідини через насадок при вдуванні в останній газової струменя достатньо дотримання на моделі й натурі критерію безрозмірного імпульсу I і безрозмірної висоти стопора над входом у стакан дозатор H :

$$\begin{cases} I = \frac{i_z}{\rho_{ж} \cdot g \cdot h_{нк}^3} = idem; \\ H = \frac{h_{cm}}{h_{нк}} = idem. \end{cases} ; \quad (1)$$

де i_z – імпульс газу на перерізі сопла, Н; $\rho_{ж}$ – густина рідкого металу, кг/м³; g – прискорення вільного падіння, м/с²; $h_{нк}$ – рівень металу в промковші, м; h_{cm} – висота стопора над входом у стакан-дозатор, м.

В ході експерименту автори спостерігали три режими взаємодії газового струменю з потоком рідини, що витікав через насадок: 1) відсутність затягування газу в насадок; 2) затягування незначних об'ємів газу в насадок; 3) затягування значної кількості газу в насадок; 4) затягування всього об'єму газу в насадок.

У загальному вигляді умову переходу між цими режимами можна представити у вигляді рівняння:

$$\frac{H^{3,75}}{I} < A, \quad (2)$$

де A – емпіричний коефіцієнт, який для дорівнює для переходу між першим і другим режимом 306; між другим і третім 30; між третім і четвертим 4,3.

Умову переходу між вищезгаданими режимами наведено на рисунку. У реальних умовах продувка здійснюється при $H < 0,1$ і $I < 10^{-6}$, що свідчать про істотну можливість затягування газу в насадок і кристалізатор.

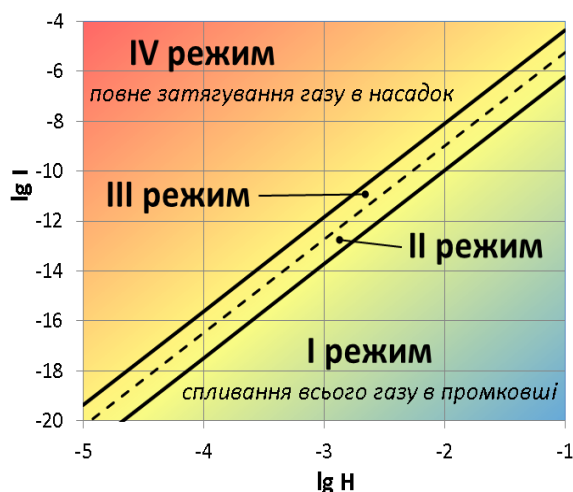


Рисунок – умови затягування газу в кристалізатор

Література

1. Синегин Е.В. Физическое моделирование процесса торможения струи металла при продувке аргоном в промежуточном ковше МНЛЗ / Е.В. Синегин, Б.М. Бойченко, В.Г. Герасименко, Л.С. Молчанов // XV International scientific conference "New technologies and achievements in metallurgy, materials engineering and production engineering": A collective monograph edited by Monika Zajemska. – Czestochowa (Poland). – 2014. – Р. 115-118.

УДК 669.162

Є. М. Сігарьов, Д. С. Кочмола, М. К. Сігарьов, І. В. Кривцун

Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське

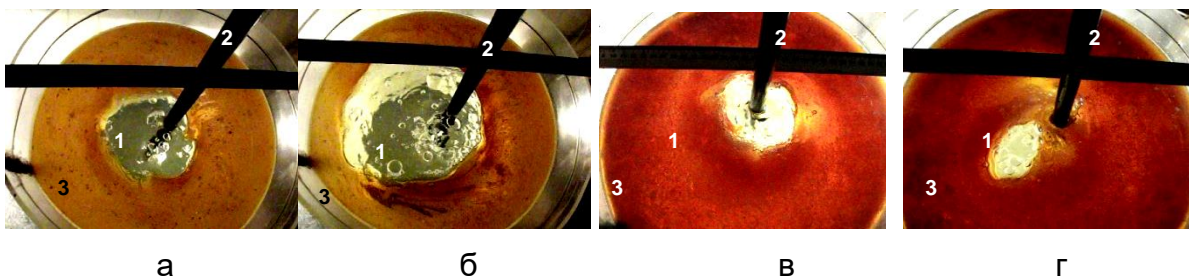
ВПЛИВ ПОКРИВНОГО ШЛАКУ НА УМОВИ КОВШОВОГО РАФІНУВАННЯ РОЗПЛАВУ

Для уточнення ступеню впливу різних факторів на умови формування відритої зони на поверхні ванни (т. зв. «ока») для запропонованих технологій попередньої ковшової десульфурзації та дефосфорації переробного чавуну використана модель з

плексигласу у масштабі 1:12 по відношенню до 230-т заливального ковшу ПАТ «Дніпровський металургійний комбінат». У якості модельної рідини для металевого розплаву використовували воду (20°C), газу-носію – компресорне повітря, а для моделювання шару покривного шлаку (товщиною від 6-ти до 30 мм) – моторне масло (5W-30). Для врахування одночасного впливу швидкості обертання заглибної фурми ($X_1(n)$, об/хвил.), товщини шару покривного шлаку ($X_2(\delta)$, мм) та витрати газу-носію ($X_3(Q)$, л/хвил.) був спланований та реалізований повний факторний експеримент.

Встановлено (рис. 1, рис. 2), що параметри вводу газу-носію у ванну суттєво впливають на відношення площі «ока» до загальної площі ванни ($S_{\text{відн.}}$), яке змінюється не тільки за величиною, але і за знаком. Так, наприклад, максимальне значення $S_{\text{відн.}} = 49,36\%$ забезпечується при швидкості обертання фурми до 120 об/хвил. при мінімальній (у досліджених діапазонах) товщині шару шлаку (6 мм), а мінімальне $S_{\text{відн.}} = 6,03\%$ – при 240 об/хвил. та максимальній товщині шлаку (30 мм) відповідно. Тобто, зменшення кількості покривного шлаку призводить до збільшення розмірів «ока» більш ніж у 8 разів.

Встановлено неоднозначну залежність геометричних параметрів «ока» від досліджених факторів. Показано, що при збільшенні товщини покривного шлаку, витрат газу-носія та швидкості обертання заглибної фурми геометричні параметри «ока» на поверхні ванни змінюються різнонаправлено. Так, у діапазоні 0-90 об/хвил. на розміри «ока» найбільший вплив має витрата газу-носія, при підвищенні обертів до 120 об/хвил. вплив Q майже рівноцінний зі швидкістю обертання фурми, а у діапазоні 120-240 об/хвил. Найбільш



1 – «око»; 2 – стовбур заглибної фурми; 3 – шар шлаку

а, в — $Q=1,0$ л/хвил., $n=120$ об/хвил.; б, г — $Q=2,2$ л/хвил. $n=240$ об/хвил.

Рис. 1 – Поверхня ванни при використанні односоплового наконечника фурми та товщині покривного шлаку 6 мм (а, б) та 30 мм (в, г)

визначальними факторами є швидкість обертання та товщина шару шлаку на поверхні ванни.

Отримані моделі у кодованих змінних: для діапазону 0-90 об/хвил.

$$S_{\text{відн}}^k = 25,8 + 0,218 X_1 - 5,116 X_2 + 8,378 X_3 - 0,958 X_1 X_2 + 1,943 X_1 X_3 - 3,4 X_2 X_3 - 0,546 X_1 X_2 X_3 \quad (1)$$

— 90-120 об/хвил.

$$S_{\text{відн}}^k = 24,748 - 0,846 X_1 - 4,188 X_2 + 9,94 X_3 - 0,014 X_1 X_2 + 3,506 X_1 X_3 - 3,251 X_2 X_3 - 0,396 X_1 X_2 X_3 \quad (2)$$

— 120-240 об/хвил.

$$S_{\text{відн}}^k = 27,22 + 1,632 X_1 - 7,97 X_2 + 8,16 X_3 - 3,808 X_1 X_2 + 1,733 X_1 X_3 - 0,847 X_2 X_3 + 1,997 X_1 X_2 X_3 \quad (3)$$

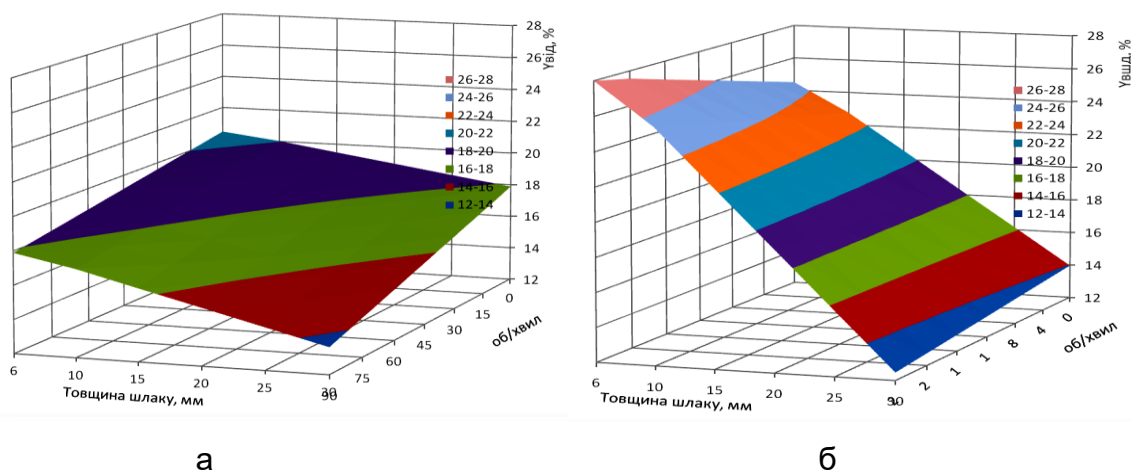


Рис. 2 – Залежність $S_{\text{відн.}}$, % від швидкості обертання фурми (у діапазоні 0-90 об/хвил (а) та 120-240 об/хвил (б)) при витратах газу-носія (Q) = 1 л/хвил

УДК 669.162

Є. М. Сігарьов, І. В. Чернятевич, Б. В. Литвинов

Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське

НАПРЯМКИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ КОІНЖЕКЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ДЕСУЛЬФУРАЦІЇ ЧАВУНУ

Проведений аналіз показників ковшової десульфурзації переробного чавуну перед сталеплавильним переділом за коінжекційною схемою на обладнанні фірми «ThyssenKrupp Polysius» (Німеччина) в умовах вітчизняного металургійного підпри-

ємства. У якості десульфураторів використовували суміш флюїдизованого вапна із магнієм у широкому діапазоні співвідношень (рис. 1).

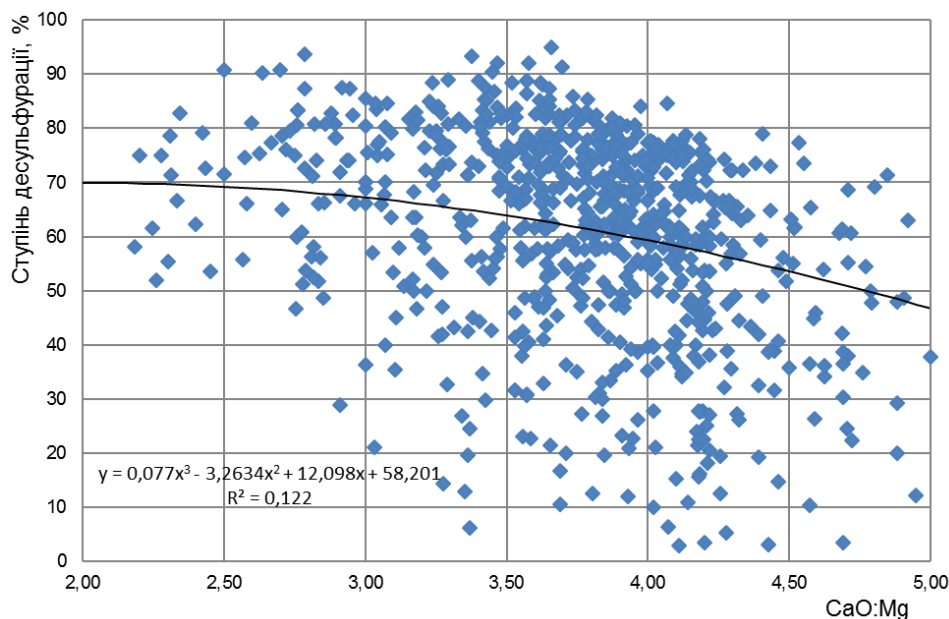


Рис. 1 – Вплив співвідношення CaO:Mg у суміші реагентів на ступінь десульфурації чавуну

Визначено, що перевищення питомих витрат флюїдизованого вапна відносно гранульованого магнію у суміші реагентів, що вдувають у розплав переробного чавуну у ковші, більш ніж у 3,6-4,5 рази призводить до зниження ступеню десульфурації (рис. 1). Доцільність підвищення питомих витрат CaO більш ніж у 3,0-3,5 рази відносно витрат Mg є сумнівною. В цілому, показники використання реагентів (за умов досягнення вмісту $[S]_k = 0,012-0,028\%$), відповідають середньому рівню* за ефективністю (табл. 1).

Таблиця 1 – Порівняльна характеристика показників ковшової десульфурації переробного чавуну на різних метпідприємствах

Параметр / (маса чавуну у ковші, т)	Росія (320 т) ¹⁾	Росія (300 т)	Україна (300 т)	Україна (230 т)	Україна (140 т) ²⁾	Китай (155 т) ²⁾
Початковий вміст сірки у чавуні, %	0,040	0,040	0,062	0,058	0,024	0,041
Вміст сірки у чавуні після десульфурації, %	0,005	0,005	0,023	0,018	0,005	0,010
Кількість видаленої сірки, %	0,035	0,035	0,039	0,040	0,019	0,031
Ступінь десульфурації, %	87,5	87,5	62,9	68,9	79,1	75,6
Середні питомі витрати CaO / Mg, кг/т	3,11 / 0,80	2,95 / 0,62	2,10 / 0,35	1,89 / 0,49	- / 0,76	- / 0,36
Питомі витрати магнію, кг/кг сірки	2,28	1,77	0,90	1,23	3,96	1,25

1) інжекція суміші реагентів через дві заглибні фурми

2) вдування магнію без добавок

За результатами обробки даних модель залежності ступеню десульфурзації від співвідношення питомих витрат вапна та магнію у суміші реагентів ($Q_{\text{пит}}$) може бути представлена у вигляді

$$D = 0,077 Q_{\text{пит}}^3 - 3,2634 Q_{\text{пит}}^2 + 12,098 Q_{\text{пит}} + 58,201. \quad (1)$$

З метою підвищення ефективності використання коштовних десульфураторів в умовах цеху запропоновано:

- з метою компенсації зниження температури при транспортуванні ковшу із розплавом до стенду УДЧ доцільним може бути підвищення температури чавуну на випуску з доменної печі, збільшення вмісту кремнію в чавуні, запобігання тепловому випромінюванню з поверхні ванни під час транспортування ківшу з доменного цеху та/або міксерного відділення шляхом «ізоляції» поверхні від атмосфери (використання шару теплоізолюючої суміші);

- в умовах утворення під час десульфурзації значної кількості додаткового шлаку рекомендується обладнання заливального ковшу пористими пробками у днищі. Продувка ванни азотом через пробки (50-70 нм³/год) забезпечить підвищення швидкості видалення шлаку з поверхні ванни у шлакову чашу при скачуванні після обробки;

- відпрацювання режиму із зменшенням співвідношення СаО:Мg у суміші реагентів, яку вдувають у розплав у другій фазі обробки, з (3,8-4,5):1 до (2,3-3,0):1 із одночасним виключенням вдування флюїдизованого вапна у третій фазі інжекції та впровадженням продувки ванни у вказаному періоді через сопла фурми або пористі пробки тільки азотом.

УДК 669.184

Є. М. Сігарьов, О. А. Чубіна, А. А. Похвалітий

Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське

ВПЛИВ ГАЗОВИХ СТРУМЕНІВ З ДОДАТКОВИХ СОПЕЛ ГАРНІСАЖНОЇ ФУРМИ НА ГАЗОШЛАКОВИЙ ПОТІК

Отримані авторами роботи відомості про розподіл гарнісажного шару свідчать про широкий діапазон коливань товщини гарнісажу по висоті робочого простору кон-

вертера (з 5-8 мм у горловини до 35-200 мм в нижній частині агрегату). Нерівномірність призводить до відхилень робочого профілю агрегату від раціонального та до ускладнень при проведенні конвертерної плавки.

Згідно з запропонованою авторами методикою розрахунку необхідної тривалості роздування шлакової ванни та режиму зміни розташування фурми з метою відновлення раціонального профілю робочого простору конвертера ширину (ΔH) діапазону відповідного сектору (S_C) взаємодії газшлакового потоку з футеровкою агрегату можна визначити за виразом

$$\Delta H = (R_k - h_\phi \cdot \operatorname{tg} \alpha_1) \cdot \operatorname{tg} \beta_1 - (R_k - h_\phi \cdot \operatorname{tg} \alpha_2) \cdot \operatorname{tg} \beta_2, \quad (1)$$

а S_C , за умови рівномірного розташування сопел по колу наконечника фурми, м^2 як

$$S_C = \frac{\pi}{2} R_k [R_k (\operatorname{tg} \beta_1 - \operatorname{tg} \beta_2) - h_\phi (\operatorname{tg} \alpha_1 \cdot \operatorname{tg} \beta_1 - \operatorname{tg} \alpha_2 \cdot \operatorname{tg} \beta_2)] \quad (2)$$

Товщина гарнісажного шлакового шару ($\delta_{\text{шл}}$), який буде нанесено на S_C протягом 1 сек роздування шлаку, з врахуванням загального об'єму шлакових крапель діаметром $d_{\text{ск}}$, м, визначається наступним чином

$$\delta_{\text{шл}} = \frac{2r_{\text{кр}} (\sqrt{h_{\text{кр}}^2 + r_{\text{кр}}^2})}{R_k^2 (\operatorname{tg} \beta_1 - \operatorname{tg} \beta_2) \cdot (R_k - h_\phi \operatorname{tg} \alpha_1) \cdot \operatorname{tg} \beta_1} \quad (3)$$

У відповідності до розрахунків за виразами (1-3), $\delta_{\text{шл}}$ по висоті відповідного сектору S_C не є сталою величиною. Так, наприклад, при розташуванні наконечника фурми на висоті 4 м від шлаку шар товщиною 50 мм у верхній точці сектору S_C буде сформований протягом 4,52 хв., а в нижній частині футерівки – не більш ніж за 2,1 хв., що відповідає виробничій практиці операції роздування шлакової ванни. За рахунок використання додаткових бокових сопел на стовбурі фурми, газові потоки з яких спрямовані убік «проблемних» зон на футерівці конвертера, є можливим перенаправлення частини шлакових крапель.

Розрахунок площі кола перетину (S') бокових струменів з врахуванням $d_x S' = \frac{\pi \cdot d_x^2}{4} = 0,785 \cdot d_x^2$ та довжини кола $L = \pi \cdot d_k$ внутрішньої поверхні футерівки, показав, що боковими струменями з фурми, впровадженої авторами у промислове використання для 260-т конвертера, покривається від 29,5 до 46,98% площі поверхні робочого простору агрегату. При співвідношенні витрат азоту між боковими та основними соплами 10-ти соплової двоярусної фурми у 17% та витратах азоту на роздування шлакової ванни від 600 до 800 $\text{м}^3/\text{хвил.}$, тиск газового потоку з бокового сопла на краплі шлаку, з урахуванням d_k , у площині їх перетину, H складе:

$$F = K \cdot Q \cdot V_x^2 \cdot \rho_{N_2}, \quad (4)$$

де K – безрозмірний коефіцієнт; Q - об'ємна витрата азоту, м³/с; V_x - швидкість струменю, м/с; ρ_{N_2} - щільність струменю, кг/м³.

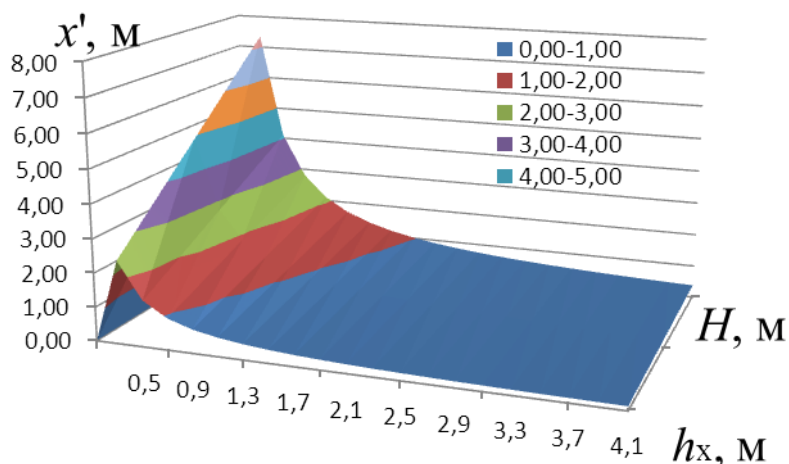


Рис.1 – Залежність сили тиску газових струменів з додаткових сопел фурми за перетином газшлакового потоку від відстані від зрізу сопел

З врахуванням розрахункових величин тиску струменів з бокових сопел на поверхню футерівки $F \cdot x' = E_k$, розмивання нанесеного гарнісажного шару не очікується, а відстань x' , на яку боковий струмінь здатен перемістити краплі газшлакового потоку з енергією E_k , одного порядку з розмірами внутрішнього робочого простору конвертера (рис. 1).

УДК 669.15:669.112.001.8

И. Р. Снигура, Д. Н. Тогобицкая

Институт черной металлургии НАН Украины им. З. И. Некрасова, г. Днепр

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУР ПЛАВЛЕНИЯ И КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ НА ОСНОВЕ ПАРАМЕТРОВ МЕЖАТОМНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

Весомый вклад в снижение себестоимости металлопродукции и повышение ее конкурентоспособности, значительное расширение экспортных возможностей отечественных предприятий вносит системный анализ современных технологий металлургического производства, соблюдение высоких стандартов в вопросах качества, в

том числе зарубежных. Поскольку температурный фактор является одним из важнейших катализаторов процессов усвоения легирующих, модифицирующих и рафинирующих добавок, эффективности протекания реакций и распределения ведущих элементов между металлом и шлаком, а также наиболее информативным показателем для принятия решений по управлению режимом плавки и доводки стали, актуализируются вопросы разработки методов точного и оперативного прогнозирования температур плавления и кристаллизации металлических расплавов.

Все современные программные пакеты для прогнозирования температур ликвидус и солидус металлических расплавов используют данные, которые в основном базируются на бинарных или многокомпонентных фазовых диаграммах, что является их недостатком, поскольку не все многокомпонентные фазовые диаграммы являются хорошо изученными и обоснованными для их применения при прогнозировании.

В данной работе прогнозирования температур плавления и кристаллизации сталей осуществляется с позиции концепции направленной химической связи Приходько Э.В., которая рассматривает расплав, как химические единую систему.

Основываясь на основных положениях концепции направленной химической связи разработаны регрессионные модели для прогнозирования температур плавления и кристаллизации железоуглеродистых сталей и сплавов ($T_L, T_S = f(Z^y, \rho_{\text{общ}})$; $R^2 \geq 0.95$), которые рекомендуются к использованию при содержании железа в матрице расплава (до 97%) и суммарной легирующей составляющей (до 20%). При этом параметром зарядового состояния системы Z^y учтено доминирующее воздействие матричной подсистемы на диапазон температур плавления и кристаллизации. Разработанные модели для прогнозирования температур ликвидус и солидус железоуглеродистых сталей и сплавов были дополнительно проэкзаменованы на независимых данных о шарикоподшипниковой стали марки ШХ15СГ, ошибка прогноза не превышает для T_L и $T_S \leq 0,85\%$, что подтвердило их адекватность. Ниже представлен сопоставительный анализ данных полученных по разработанным моделям с экспериментальными значениями для железоуглеродистых сталей (конструкционные, инструментальные, рельсовые).

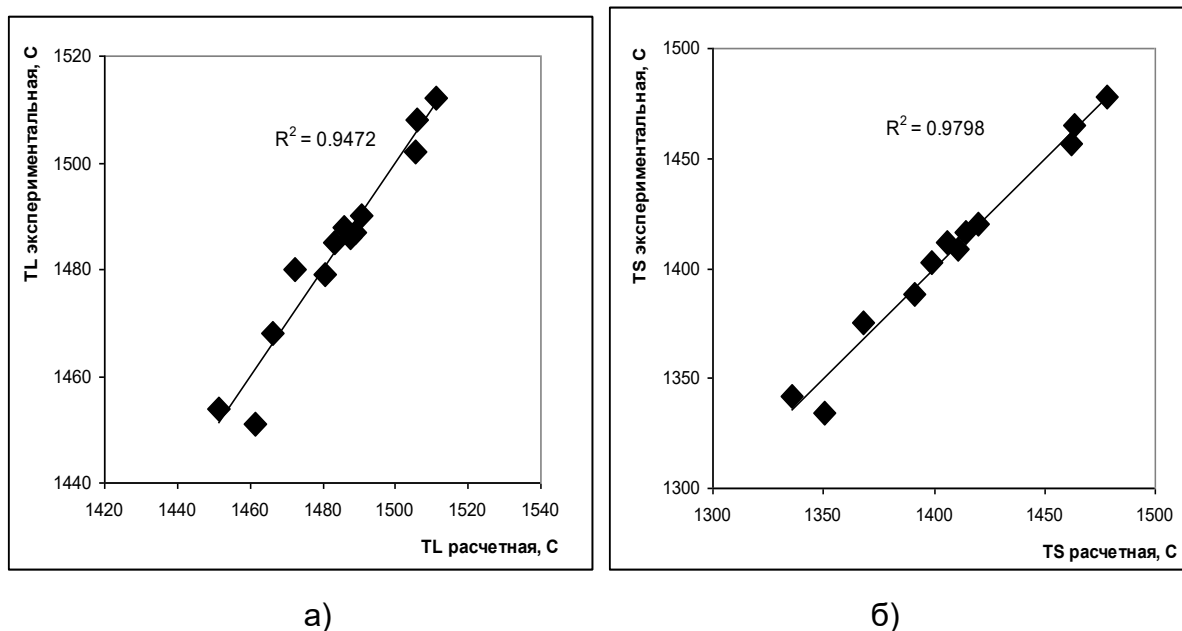


Рис. 1 – Сравнение экспериментальных и расчетных значений температуры ликвидус (а) и солидус (б) железоуглеродистых сталей

Расчетные и экспериментальные значения для железоуглеродистых сталей хорошо согласуются между собой и отличаются высокой точностью прогноза (рис.1). Использование интегральных параметров межатомного взаимодействия: физико-химического эквивалента Z^y и электронной плотности ρ_i , как критерия гетерогенности расплава, позволило снизить параметричность моделей посредством «свертки» данных о химическом составе, повысить точность прогноза и рекомендовать их для использования в системах АСНИ и АСУТП сталеплавильного производства.

УДК 669.184

А.Н. Стоянов¹, Б.М. Бойченко¹, К.Г. Низяев¹, Л.С. Молчанов¹, А. Бурбелко²

1 – Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепр

2 – AGH University of Science and Technology, Poland

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ СТАЛЕПЛАВИЛЬНЫХ ШЛАКОВ

Для установления зависимости электропроводности шлаковых расплавов от их состава был примененный симплекс-решётчатый метод планирования экспериментов. Выбран диапазон составов шлака, который соответствует конвертерному, ковшевому и синтетическому, что даст возможность применения полученных данных

в исследованиях стойкости как конвертерных, так и ковшевых огнеупоров. Матрица и составы исследованных шлаков приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Матрица эксперимента и показатели электропроводности шлаков

X_1	X_2	X_3	CaO	SiO ₂	FeO
1,0	0,0	0,0	95	5,0	0,0
0,0	1,0	0,0	45,0	55,0	0,0
0,0	0,0	1,0	45,0	5,0	50,0
0,7	0,3	0,0	78,33	21,67	0,0
0,3	0,7	0,0	61,67	38,34	0,0
0,7	0,0	0,3	78,33	5,0	16,67
0,3	0,0	0,7	61,67	5,0	33,33
0,0	0,7	0,3	45,0	38,33	16,67
0,0	0,3	0,7	45,0	21,67	33,33
0,3	0,3	0,3	61,67	21,67	16,67

С целью изучения влияния состояния шлакового расплава проведено три серии экспериментов при температурах 1520, 1550, 1580 °C.

На рис. 1 приведены диаграммы изолиний электропроводности шлаков для указанных температур и составов.

Из приведенных данных вытекает, что при увеличении температуры расплава электропроводность шлака повышается, и это не противоречит ионной теории строения шлаковых расплавов. Однако существуют области (CaO ~ 45-61%; SiO₂ ~ 38-55%; FeO ≤ 1), в которых при повышенных температурах шлакового расплава происходит рекомбинация соединений, которая приводит, в свою очередь, к частичному снижению или стабилизации электропроводности шлака.

Также отмечено, что с увеличением количества оксидов железа в шлаке электропроводность последнего резко повышается, а увеличение содержания оксидов кальция приводит к обратному, при этом оксиды кремния существенно не влияют на электропроводность шлаков. Эти закономерности и основные положения электрохимии дают возможность сделать следующий предварительный вывод: протекание электрохимических реакций определяется подвижностью ионов в системе, а регулировать скорость переноса ионов можно путем подведения заданного электрического потенциала к системе, который определяется электропроводностью.

Проведенные исследования подтвердили основные представления ионной теории строения шлаковых расплавов, что при увеличении температуры расплава электропроводность шлака повышается практически равномерно по всем участкам за небольшим исключением.

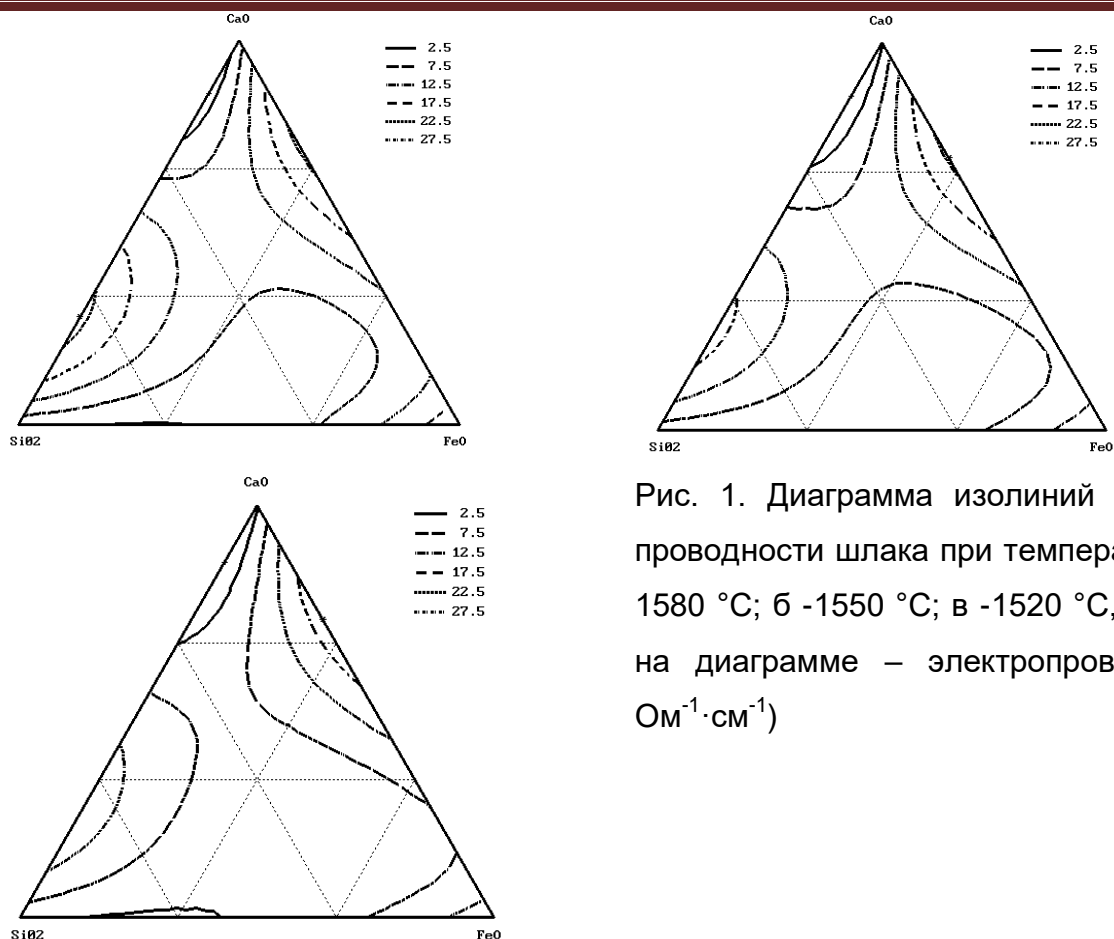


Рис. 1. Диаграмма изолиний электропроводности шлака при температуре: а- 1580 °С; б -1550 °С; в -1520 °С, (цифры на диаграмме – электропроводность, $\text{Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$)

Полученные закономерности предполагают возможность электрического воздействия на систему для регулирования процессов протекания электрохимических реакций на границе раздела огнеупор-шлак.

УДК 669.184

А.Н. Стоянов, Б.М. Бойченко, К.Г. Нізяєв, Є.В. Синегін, Л.С. Молчанов

Національна металургійна академія України

ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРУ МАСООБМІННИХ ПРОЦЕСІВ НА МЕЖІ «ТВЕРДА-РІДКА» ФАЗИ НА ОСНОВІ ТЕОРІЇ ЕЛЕКТРОХІМІЧНОЇ ТА ФІЗИЧНОЇ МЕХАНІКИ СТАЛЕПЛАВИЛЬНИХ ПРОЦЕСІВ

Процеси взаємодії компонентів основної футеровки з рідким шлаком та металом мають суттєве значення з точки зору оптимізації роботи сталеплавильних агрегатів. Стійкість футеровки в значній мірі визначається швидкістю та повнотою переходу тих чи інших елементів шлаку через межу фаз.

Оскільки шлак є іонним розплавом, то взаємодія компонентів футеровки з шлакометалевим розплавом має електрохімічну природу, тобто кожна окислювально-відновлювальна реакція представляє собою сукупність окремих окислювальних й відновлювальних стадій, які мають назву електродних процесів. Термодинамічний розгляд рівноваги у системі вогнетрив-шлак, вогнетрив-метал може бути проведений без урахування природи взаємодії фаз. Аналогічний підхід припустимий й у кінетичному аналізі, якщо усі активаційні (не дифузійні) стадії процесу протікають без гальмування, тобто наближаються до рівноваги.

Урахування природи взаємодії вогнетриву та шлакового розплаву дозволяє визначити вплив різних технологічних факторів на термодинамічні й кінетичні характеристики реакцій, пов'язати ці характеристики з будовою фаз. Це також дозволяє зробити кількісну оцінку змін властивостей в системі вогнетрив-шлакометалевий розплав під впливом електричного струму, що протікає крізь міжфазну межу (електрошлаковий переплав, обробка металу на ковші-печі та т.п.). У тих випадках, коли частка кінетичних гальмувань може бути суттєвою, кількісний розрахунок швидкості процесів унеможлиблюється без урахування електрохімічного характеру взаємодії.

Якщо в якості компонентів вогнетриву, шлакової фази, або металу обрані заряджені частки, то у термодинамічних співвідношеннях необхідно враховувати їх електростатичну енергію та замість хімічного потенціалу використовувати електрохімічний.

В стані рівноваги системи усі компоненти в тій чи іншій кількості присутні в обох фазах. Кожен з них впливає на формування електродного потенціалу, тому неможливий кількісний термодинамічний розгляд часткового процесу розподілення якого-небудь елементу. Навіть у простому випадку, коли в системі можна враховувати лише одну окислювально-відновлюючу реакцію, необхідно мати на увазі, що вона є сукупністю двох електродних процесів: окислювальної (анодної) та відновлювальної (катодної) стадії.

Якщо обидві стадії, а відповідно, і реакції в цілому знаходяться в стані рівноваги, то їх рівноважні електродні потенціали однакові.

У загальному випадку:

$$K = \exp\left[(\varphi_K^0 - \varphi_a^0) \cdot z \cdot F\right] \quad (1)$$

де φ_K^0 та φ_a^0 – стандартні електродні потенціали для катодного і анодного процесів відповідно. Для більш складної системи, в якій одночасно протікає декілька (напри-

клад, n) електродних процесів, вищенаведене також є справедливим. Для кожного процесу можна записати вираз

$$\varphi_p = \varphi^0 + \frac{RT}{zF} \ln \frac{Pa_i^{V_i}(Ox)}{Pa_i^{V_i}(Red)} \quad (2)$$

де $Pa_i^{V_i}(Ox)$ – добуток активностей реагентів у окислювальній системі (до приєднання електронів); $Pa_i^{V_i}(Red)$ – теж саме, для відновлювальної системи (після приєднання електронів); V_i – стехіометричні коефіцієнти; z – кількість електронів у стехіометричному виразі процесу, а потім врахувати, що на межі фаз встановлюється єдиний електродний потенціал:

$$\varphi_p = \varphi_p^{(1)} = \varphi_p^{(2)} = \dots = \varphi_p^{(n)}$$

Таким чином, отримаємо n-1 незалежних рівнянь, які пов'язують між собою рівноважні активності реагентів, тобто n-1 співвідносин типу (1), що характеризують константи рівноваги незалежних в термодинамічному значенні реакцій.

У будь-якому розчині еквівалентні концентрації катіонів $С_k$ та аніонів $С_a$ дорівнюють один одному і розчин, в цілому, електрично нейтральний. Але при зануренні у розчин електроду тотожність $С_k$ та $С_a$ у його поверхні порушується. Електрод або надсилає свої катіони у розчин, або притягує з розчину іони певного знаку. В обох випадках розчин, який безпосередньо прилягає до електроду, збагачується іонами якого-небудь одного знаку заряду, утворюючи рідинну обкладинку подвійного шару.

У всіх випадках процеси, що призводять до порушення електричної нейтральності розчину у місці пригасання його з електродом, припиняються, коли встановлюється рівноважний скачок потенціалу, що запобігає подальшому накопиченню заряду.

Рівноважному стану відповідає подвійний шар визначеної будови. Еквівалентні концентрації $С_k$ та $С_a$ у вищезгаданих типових випадках утворення подвійного шару у поверхні електроду (в рідинній обкладці) неоднакові. В граничному варіанті поверхня електроду межує з іонами тільки одного знаку заряду.

Вираз (1) дозволяє використовувати у металургійних системах відомий в електрохімії спосіб систематизації даних про термодинамічні характеристики окислювально-відновлювальних реакцій. Також можливе експериментальне визначення констант рівноваги та інших термодинамічних характеристик взаємодії шляхом визначення е.р.с., при цьому реакція, яка вивчається, може бути віддалена від рівноваги.

А. К. Тараканов

Национальная металлургическая академия Украины, Днепр

ВОЗМОЖНОСТИ ОСВОЕНИЯ ВНЕДОМЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА ЧУГУНА

Процессы жидкофазного восстановления (ПЖВ) являются единственной реальной альтернативой традиционной коксо-агло-доменной технологии выплавки чугуна, имея перед ней существенные преимущества:

1. Значительно меньшие капитальные затраты даже без учёта капитальных вложений в строительство аглофабрик и коксохимических заводов.
2. Более низкие текущие затраты за счёт использования дешёвых рудных материалов и любых металлургических отходов, а также дешёвых энергетических углей.
3. Гибкость потенциально многоцелевой технологии, позволяющей, наряду с выплавкой качественного чугуна, производить шлаки любого требуемого состава и газифицировать уголь с получением энергетических газов.
4. Высокая эффективность управления малоинерционной технологией.
5. Меньшее влияние на экологию в связи со значительным сокращением вредных газовых выбросов.

Некоторые технологии ПЖВ (Romelt, Hismelt) освоены уже в промышленном масштабе. Однако мало кто надеется, что в обозримом будущем начнётся массовая замена доменных печей агрегатами жидкофазного восстановления. Пока что во всём мире господствуют идеи совершенствования традиционного коксо-агло-доменного производства. В Европе и в большинстве других регионов не только текущие, но и потенциальные потребности в чугуне обеспечиваются существующими доменными печами, возможно, после их модернизации и реконструкции, что требует минимальных капитальных вложений.

Объективно наиболее благоприятные условия для активного освоения ПЖВ существуют в Украине. Ситуация с сохранением конкурентоспособности металлургической отрасли Украины непрерывно усугубляется. В отрасли нет ни одной аглофабрики с современным технологическим циклом, позволяющим производить стабильный по качеству агломерат. Угольная база и оборудование коксохимических заводов не обеспечивают необходимого качества кокса. Это снижает эффективность доменной технологии, решающим образом определяющей экономику металлургии.

ского производства в целом. В этих условиях Украина, как никакая другая металлургическая держава, объективно должна быть готова к началу фундаментального прорыва в освоении новых металлургических технологий, не требующих для своей реализации ни агломерата, ни кокса.

Одна из проблем освоения технологий ПЖВ состоит в том, они до сих пор всегда проектировались как полная альтернатива доменному производству. Повысить эффективность ПЖВ и значительно снизить капитальные затраты можно, если первоначально строить агрегат ПЖВ в составе действующего доменного цеха на месте выводимой из эксплуатации доменной печи с использованием её инфраструктуры, в частности – воздухонагревателей для нагрева дутья доменным газом работающих печей. Тогда возможна малоокислородная или даже бескислородная технология, что дополнительно повысит эффективность процесса. Сам агрегат ПЖВ может быть спроектирован с использованием в основном освоенного оборудования доменных и конвертерных цехов.

Оптимизация технологии ПЖВ возможна на основе разработанной нами статической математической модели процесса. В качестве критерия оптимизации можно использовать удельное энергопотребление на выплавку чугуна, но поскольку ПЖВ обеспечивает выработку значительного количества электроэнергии, наиболее логичным и естественным показателем для решения оптимизационной задачи является себестоимость чугуна с ограничениями по объёму капиталовложений. Оптимизационная задача решается автоматически.

Для универсализации модели предусматривается возможность использования нагретого дутья и подачи угля как на поверхность шлака, так и в глубину шлаковой ванны в виде пылеугольного топлива совместно с окислителем. Результаты решения задачи выбора оптимальных параметров процесса жидкофазного восстановления железа зависят главным образом от накладываемых ограничений и соотношения цен на различные энергоносители.

При заданном соотношении цен на уголь и электроэнергию снижение степени дожигания газа в рабочем пространстве агрегата от 0.4 до минимально допустимого, а также повышение концентрации кислорода в горячем дутье от 23 % до 25 % значительно понижают потенциальную себестоимость чугуна в связи с возможным при этом переходе с парового на парогазовый цикл производства электроэнергии.

Отработка технологии управления плавкой в агрегате ПЖВ осуществляется с помощью электронного имитатора, который может достаточно достоверно воспроизводить конкретный процесс в динамике с учётом характера колебаний состава и

свойств шихтовых материалов. Создание такого имитатора потребовало разработки динамической математической модели процесса.

Без использования АСУ с динамическим имитатором ПЖВ в контуре управления обеспечить надёжную работу агрегата жидкофазного восстановления крайне сложно.

УДК 669.715:621.746

Г. М. Трегубенко, Г. В. Трегубенко, Г. А. Поляков, С. М. Підгорний, В. Т. Калінін

Національна металургійна академія України, Дніпро

ТЕРМОДИНАМІЧНИЙ АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ НАСИЧЕННЯ АЛЮМІНІЄВОГО РОЗПЛАВУ ВОДНЕМ

Основним газом, що розчиняється в алюмінії і сплавах на його основі, є водень. Система газ–метал, як і інші гетерогенні рівноважні системи, підкоряється правилу фаз Гібса, що визначає число фаз, які можуть співіснувати при рівновазі. Згідно правилу фаз Гібса стан такої системи, за наявності трьох компонентів (розчинний газ, метал, нерозчинний газ) і трьох фаз (газ, оксид алюмінію і метал) визначається двома мірами свободи. Таким чином, при рівновазі можуть змінюватися без зміни числа або виду фаз системи два чинники – парціальний тиск водню над металом (P_{H_2}) і температура (T):

$$\lg S = \frac{A}{T} + \frac{1}{2} \lg p_{H_2} + B, \quad (1)$$

де A , B – коефіцієнти, що встановлюються на основі експериментальних досліджень ($A = -2760$, $B = 1,356$).

Відповідно до рівняння (1) зменшення парціального тиску водню в газовій фазі повинне вести до зменшення рівноважної концентрації газу в металі (S). Одночасно аналіз виразу (1) показує, що реальні розчини водню в алюмінії є термодинамічно перенасиченими (вміст водню в атмосфері незначний і складає $5 \cdot 10^{-5} \%$ за об'ємом або $\sim 4 \cdot 10^{-4}$ мм рт. ст.). Виходячи з цього, розчини водню в алюмінії винні мимоволі і повністю розпадаються, тобто без застосування яких-небудь дегазуючих засобів і способів повинна відбуватися мимовільна дегазація розплаву (наприклад, при 700°C до вмісту водню $< 0,001 \text{ см}^3/100 \text{ г}$).

Проте насправді цього не відбувається. Причина полягає в тому, що в практичних умовах плавки і розливання алюмінію доводиться мати справу не з подвійною, а з складнішою системою: метал–водень–водяна пара–оксид, оскільки при підвищених температурах алюміній енергійно взаємодіє з водяною парою за реакцією:



Термодинамічний аналіз реакції (2) проводили по методиці Темкіна-Шварцмана:

$$\Delta G_T^0 = \Delta H_{298}^0 - T\Delta S_{298}^0 - T(\Delta aM_0 - \Delta bM_1 - \Delta cM_2 - \Delta dM_{-2}). \quad (3)$$

Значення ентропії (ΔS_{298}^0) і зміни ентальпії (ΔH_{298}^0) всіх речовин, що беруть участь в реакції (2), а так само коефіцієнтів a , b , c , d , M_0 , M_1 , M_2 і M_{-2} узяті з роботи [1].

На підставі термодинамічних розрахунків і статистичної обробки отриманих даних в програмі MS Excel отримано наступна температурна залежність ізобарно-ізотермічного термодинамічного потенціалу (зміна вільної енергії Гібса) для реакції (2):

$$\Delta G_T^0 = -904630 + 97,4T \quad (4)$$

Використовуючи вираз (4), а так само рівняння ізобари Вант-Гоффа:

$$\lg K_p = -\frac{\Delta G_T^0}{2,3RT} \quad (5)$$

визначимо температурну залежність логарифма константи рівноваги реакції (2):

$$\lg K_{p(2)} = \frac{47331}{T} - 5,1 \quad (6)$$

Не дивлячись на те, що із зростанням температури константа рівноваги реакції (2) різко зменшується (див. вираз (6)), її значення залишається дуже великим для всіх вивчених температур. Тому навіть при незначному вмісті водяної пари в атмосфері реакція (2) не тільки термодинамічно можлива, але і повинна мимоволі протікати в повному об'ємі у всьому температурному інтервалі переплаву вторинної алюмінієвої сировини (700 – 1000 °C).

На підставі виконаного термодинамічного аналізу процесу насичення алюмінієвого розплаву воднем можна зробити висновок, що для отримання якісних виливків з вторинних алюмінієвих сплавів вміст водяної пари в атмосфері печі повинен бути мінімальним.

Перелік літератури

1. *Верятин, У. Д.* Термодинамические свойства неорганических веществ: Справочник / У. Д. Верятин, В.П. Маширев, Н.Г. Рябцев и др. – М.: Атомиздат, 1965. – 460 с.

УДК 622.788.3.5

А.Ю. Худяков¹, М.Н. Бойко², Н.В. Полякова², С.В. Ващенко¹, К.В. Баюл¹

1 – Институт черной металлургии им. З.И.Некрасова НАН Украины, г. Днепр

2 – Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепр

РАЗРАБОТКА КРИТЕРИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПОДГОТОВЛЕННОСТИ АГЛОМЕРАЦИОННЫХ ШИХТ К СПЕКАНИЮ

Поскольку окомкование формирует гранулометрический состав шихты и таким образом влияет на структуру ее слоя, то для оценки и повышения эффективности окомкования необходимо определение и использование соответствующих структурных показателей. Детальное описание структуры слоя, с учетом всех характеристик частиц и поровых каналов оправдано при решении узкоспециализированных задач, например, при определении суммарной площади контакта частиц в слое и т.п. Использование коэффициентов газодинамического сопротивления, входящих в основные уравнения движения газов в слое требует проведения значительного количества трудоемких экспериментальных измерений.

Для условий агломерационного производства целесообразно считать слой исходной шихты насыпным и рассматривать его как однородное изотропное среду, усредненной газодинамической характеристикой которой является доля незанятого гранулами объема слоя, то есть его порозность.

Порозность реального слоя окомкованной агломерационной шихты зависит от величины структурных показателей: эквивалентного диаметра гранул d_{eq} и степени однородности распределения гранулометрического состава шихты. В качестве характеристики однородности распределения гранулометрического состава можно принять коэффициент вариации крупности гранул V_d , который позволяет оценить распределение фракций различных диаметров относительно d_{eq} .

Практическое использование структурных показателей V_d и d_{eq} затруднено вследствие необходимости проведения трудоемких измерений гранулометрического состава шихты и использования расчетного аппарата математической статистики.

В работе исследовано совокупное влияние эквивалентного диаметра гранул и коэффициента вариации крупности гранул шихты на порозность слоя. Определено наличие трех групп коэффициента V_d , отличающиеся характером данного влияния. Проанализирована зависимость порозности слоя шихты от d_{eq} и V_d для каждой из групп.

Установлено, что с увеличением диаметра гранул и однородности распределения гранулометрического состава геометрическая удельная поверхность смеси S_{geom} существенно снижается. Уменьшение удельной поверхности шихты приводит к ухудшению условий конвективного теплообмена в слое, снижает эффективность передачи тепла от газообразных продуктов горения твердого топлива в шихты; кроме того, размеры зон горения топлива и формирования агломерата увеличиваются, а температура в них падает. Совместное действие указанных факторов негативно влияет на процессы минералообразования, приводит к снижению механической прочности агломерата и уменьшению выхода годного продукта. Поэтому целесообразно, стремясь к увеличению степени однородности распределения гранулометрического состава, получать не полностью монодисперсных шихту. С учётом полученных результатов предложен новый структурный показатель (отношение среднего диаметра $1/3$ массы гранул наименьшей крупности до среднего диаметра остальных гранул $d_{(1/3min)} / d_{(2/3)}$), который позволяет отобразить коэффициент вариации крупности гранул шихты и может быть использован при оценке эффективности процесса окомкования и разработке рекомендаций по ее повышению.

Е. А. Чичкарев, В. А. Алексеева

ГБУЗ «Приазовский государственный технический университет»

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ КОАГУЛЯЦИИ И УДАЛЕНИЯ
НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ВКЛЮЧЕНИЙ ПРИ ПРОДУВКЕ РАСПЛАВА ИНЕРТНЫМ
ГАЗОМ В ПРОМЕЖУТОЧНОМ КОВШЕ МНЛЗ**

Перемешивание расплава в ковше оказывает большое влияние на укрупнение и удаление включений, обеспечивая укрупнение включений и их перенос к поверхности раздела металл-шлак. Неметаллические частицы, плохо смачиваемые расплавом, могут захватываться поверхностью пузырьков газа и вместе с ними всплывать на свободную поверхность. Эффективность флотации зависит от размеров НВ (мелкие НВ удаляются с трудом) и размеров пузырьков газа (мелкие пузырьки газа обеспечивают более высокую скорость удаления НВ).

В данной работе представлены результаты исследования процессов всплытия и флотации неметаллических включений внутри секционированного промежуточного ковша двухручьевого слябовой МНЛЗ. Рассмотрено влияние различных факторов (наличия и поперечного сечения отверстий в перегородках, интенсивности продувки инертным газом, площади барботажа).

Исследование проведено с использованием разработанной математической модели процессов флотации и всплытия НВ. Особенностью предложенной модели является представление промежуточного ковша в виде комбинации ячеек идеального смешения, идеального вытеснения и барботажной зоны (при использовании продувки инертным газом).

Промежуточный ковш слябовой МНЛЗ рассматривался как комбинация ячеек идеального смешения и вытеснения. Расчетным путем установлено, что на выходе ячейки идеального смешения остается сравнительно большая доля крупных неметаллических включений, чем на выходе ячейки идеального вытеснения. Между тем, небольшие мелкие неметаллические включения со средним диаметром менее 40 микрон плохо удаляются в обоих случаях.

В результате экспериментов на гидравлической модели ПК по импульсному вводу раствора соляной кислоты с кондуктометрической регистрацией ее концентрации установлено, что для разливочной секции ПК с перфорированной перегородкой среднее значение числа Пекле $Pe = (wL_{PC})/D_E = 3,6$, а для ПК без

перегородок $Pe = (wL_{ПК})/D_E = 8,5$ ($L_{ПК}$ – длина разливочной секции, $L_{ПК}$ – длина промковша). По средним значениям чисел Пекле нетрудно определить и значения эффективного коэффициента диффузии D_E (можно принять $D_x=D_y=D_E$).

Эффективность удаления неметаллических включений в разливочном устройстве с их переносом турбулентным потоком по результатам расчетов оказалась ниже, чем для идеализированных случаев. Для идеализированной ячейочной модели промежуточного ковша установлено, что меньше объем зоны идеального смещения и/или чем выше объем зоны идеального вытеснения, тем ниже концентрация неметаллических включений в металле на выходе промежуточного ковша.

Важным механизмом удаления НВ различных фракций является их флотация пузырьками инертного газа (или паров при обработке щелочноземельными элементами). С учетом стационарности потока металла через ПК для расчета остаточной концентрации НВ в металле на выходе барботажной зоны ПК получена следующая формула:

$$\frac{c_1}{c_0} = \frac{1}{1 + k_F \theta}, \quad (1)$$

где c_0, c_1 – концентрация НВ в металле перед и на выходе из барботажной зоны ПК; $\theta = V_b / R$ – среднее время пребывания металла в барботажной зоне; V_b – объем барботажной зоны; R – объемная скорость разливки в расчёте на 1 секцию ПК, м³/с.

Снижение концентрации НВ возможно за счёт увеличения времени пребывания (т.е. фактически увеличения объема барботажной зоны) и за счет увеличения константы скорости k_F за счёт уменьшения среднего диаметра пузырьков и дисперсии распределения их распределения по размерам.

По результатам расчетов установлено, что флотация неметаллических включений значительно увеличивает скорость удаления мелких частиц диаметром 20-40 мкм, которые практически не удаляются в промежуточном ковше без продувки, только с устройствами управления потоками. Для удаления мелких неметаллических включений необходимо образование мелких пузырьков газа, которые эффективны при флотации мелких и средних включений.

Представленные результаты расчетов вполне согласуются с результатами экспериментов, проведенных в промышленных масштабах.

УДК 620.22

Т. А. Шарабура, В. А. Пинчук

Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепр

**ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДОУГОЛЬНОГО ТОПЛИВА В
ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

Сложившаяся ситуация в топливно-энергетическом секторе Украины требует рационального перевода различных отраслей промышленности и энергетики страны на собственные энергоресурсы. Одним из эффективных направлений применения углей и отходов углеобогащения, является использование их в виде водоугольного топлива (ВУТ). ВУТ может использоваться в различных отраслях промышленности, в том числе в металлургии в печах различного назначения, а также в энергетике, что позволит решить основную задачу – снизить высокие топливные затраты, где сжигают природный газ.

Одним из вариантов использования ВУТ может быть частичная замена природного газа данным топливом. В табл. 1 приведены результаты расчета технико-экономической эффективности отопления вращающейся печи для обжига известняка смесью природного газа и ВУТ.

Табл. 1 – Техничко-економическая оценка работы вращающейся печи при отоплении смесью природного газа и ВУТ

Показатель	Значение
Расход условного топлива, кг/т _{изв}	300
Расход природного газа, м ³ /т _{изв}	219,9
Расход ВУТ, кг/т _{изв}	636,96
КПД печи, %	32
Годовая производительность, т	90000
Капитальные затраты, млн. грн.	15,617
Годовая прибыль, млн. грн./год	66,545
Срок окупаемости, лет	0,22

Как видно, использование ВУТ является целесообразным, приводит к экономии природного газа и снижению себестоимости производства продукции [2].

Использование ВУТ предпочтительно и с экологической точки зрения. Сопоставление количества вредных веществ, образующихся при сжигании различных видов топлива, приведены в табл. 2. [3]

Внедрение в промышленность ВУТ позволит:

- расширить топливно-энергетическую базу промышленности за счет вовлечения углей различных марок и отходов углеобогащения;
- снизить выбросы в атмосферу пыли и токсичных газов в пересчете на 1 кВт·ч электроэнергии, вырабатываемой на тепловых электрических станциях, освободить огромные территории от отходов углеобогащения и устранить загрязнение ими окружающего пространства;

Табл. 2 – Количество вредных веществ в продуктах сгорания различных видов топлива

Вредное вещество	Количество вредных веществ в продуктах сгорания, г/м ³		
	угля	мазута	ВУТ
Пыль, сажа	100-300	2-5	1-5
SO ₂	400-800	400-700	100-200
NO ₂	250-600	150-750	30-100

- упорядочить и оптимизировать топливно-энергетический баланс предприятий по критерию минимума потребления природного газа и существенно снизить долю покупных источников энергии, а в некоторых случаях полностью отказаться от их приобретения;

- полностью или частично перейти на самообеспечение предприятий угледобывающей и углеобогащающей отрасли и их социальной сферы тепловой энергией.

Список литературы

1. Пинчук В. А. Перспективы, особенности и технико-экономические показатели использования водоугольного топлива в энергетике и промышленности / В. А. Пинчук, Т. А. Шарабура // Економічні, управлінські, правові та інформаційно-технічні

проблеми діяльності підприємств: колективна монографія / за заг. ред. Л. М. Савчук, М. Фіц. – Дніпро: Герда, 2016. – С. 501-519.

2. *Шарабура Т. А.* Использование продуктов газификации водоугольного топлива в паровых котлах малой мощности / Т. А. Шарабура, В. А. Пинчук // Промышленная теплотехника. – 2014. - №5. – С. 64-71.

3. *Делягин Г. Н.* Водные дисперсионные системы на основе бурых углей как энергетическое и технологическое топливо / Г. Н. Делягин, А. П. Петраков, Г. С. Головин, Е. Г. Горлов // Российский химический журнал. -1997.- №6.- С. 72-77.

УДК 669.184

**Н. А. Шеремета, Б. М. Бойченко, К. Г. Нізяєв, О. М. Стоянов, Л. С. Молчанов,
Є. В. Синегін**

Національна металургійна академія України, м. Дніпро

ДОННИЙ БЛОК ДЛЯ ПРОДУВКИ РОЗПЛАВУ СУМІШШЮ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ГАЗІВ РІЗНОГО СКЛАДУ

На сучасному етапі розвитку світової металургії значно зростає роль ковшового рафінування розплавів. При цьому розроблена значна кількість технологічних процесів з позапічного нагріву, охолодження, усереднення, рафінування та легування розплавів. Єдиною операцією, яку на даному етапі технологічно складно виконувати на стадії позапічного рафінування розплавів є процеси додаткового окислення домішок. Це викликано низькою стійкістю сучасних конструкцій продувальних донних блоків для ковшового рафінування при здійсненні окислювальної продувки.

З метою розширення можливостей операції позапічного рафінування розплавів запропонована конструкція продувального блоку, що дозволяє використовувати суміш різних технологічних газів змінного складу (рис. 1).

Конструктивно блок для продувки металу газами складається з газонепроникної матриці та розташованих у ній каналів, причому два з яких циліндричної форми розташовані під кутом $5 - 15^\circ$ до поздовжньої вісі симетрії блоку, а третій, заповнений газопроникним вогнетривким матеріалом, - конічної форми, розташований вздовж неї та орієнтований вершиною до центру блоку, і додатково оснащений порожнистою камерою циліндричної форми діаметром, рівним діаметру нижньої основи конічного каналу. При цьому діаметр верхньої основи конічного каналу у 2 – 2,5 рази

більший від нижньої та довжина кожного циліндричного каналу дорівнює довжині конічного, а діаметр кожного з циліндричних каналів складає 0,2 – 0,4 діаметри порожнистої камери.

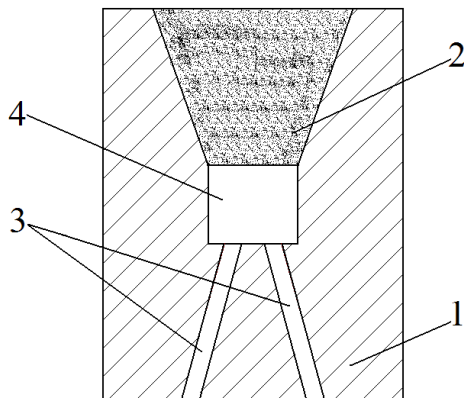


Рис. 1 Донний продувальний блок для продування розплавів сумішшю технологічних газів:

1 – газонепроникна вогнетривка матриця; 2 – конічний канал, заповнений газопроникним вогнетривким матеріалом; 3 – циліндричні канали; 4 – порожниста камера циліндричної форми

Використання продувочного блоку розробленої конструкції дозволяє здійснювати окислювальну продувку розплаву на стадії позапічного рафінування з використанням суміші технологічних газів, що містить кисень; при здійсненні звичайної продувки нейтральними газами досягається підвищення ступеню хімічної однорідності розплаву на 10 – 14 % у порівнянні з застосуванням продувальних блоків традиційної конструкції.

УДК 669.162

М. В. Ягольник

Національна металургійна академія України, Дніпро

ОЦІНКА ВПЛИВУ ТЕХНОЛОГІЇ СУМІСНОГО ПОДРІБНЕННЯ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ВИКОРИСТАННЯ ЇХ В АГЛОМЕРАЦІЙНІЙ ШИХТІ

Намагання покращити якість продукту та підвищити продуктивність процесу залишається безумовним при виробництві залізорудного агломерату. З цією метою останнім часом велика увага приділяється використанню модифікованих (комплекс-

них, активованих та ін.) флюсів у шихті для виробництва агломерату. Попередня підготовка флюсів та їх подальше використання в агломераційній шихті позитивно відображається на всіх показниках процесу [1].

Підготовка активованих флюсів проводиться в кульових або стрижневих млинах. Особливості впливу даних агрегатів на властивості диспергіруємих речовин полягає в одночасному розвитку фізичних навантажень у вигляді ударів і тертя при локальних підвищеннях температури до 700-900 °С. Під їх впливом змінюються властивості поверхні частинок речовин. Кристалічна структура приходить в аморфний стан. Процес розкладання карбонатних порід може розвинутиися від часткового до повного його завершення в залежності від часу подрібнення. Спільне подрібнення двох або декількох речовин утворюють сполуки, фізико-хімічні властивості яких відрізняються від вихідних властивостей. Їх неможливо розділити на складові [2].

За основу перспективних розробок було використано новий напрямок в способах управління властивостями речовин зміною їх поверхневих властивостей. Даний напрямок відноситься до науки «механохімія», що вивчає процеси деструкції матеріалів при тонкому подрібненні в кульових млинах. Вченими було встановлено, що зміна кристалічної структури визначає технологічних властивості порошків в більшій мірі, ніж їх дисперсність. Застосування даного способу впливу на властивості порошків знайшло широке застосування при виробництві в'язучих, в тому числі і вапна [3].

В даних дослідженнях ставилося завдання підтвердити ефективність сумісного подрібнення матеріалів, а саме флюсів перед їх використанням в агломераційній шихті.

Для цього були підготовлені шихти для спікання які відрізнялися з добавкою різної кількості сумісно подрібнених матеріалів (вапняк + вапно). Використовували різні співвідношення. Усього було виконано 8 серій спікань з різним співвідношенням компонентів у суміші флюсів та різною природою флюсів. Були використані: вапняк звичайний; вапно гашене та негашене; вапняк обпалений за оригінальною методикою.

Розглядаючи вплив кількості обпаленого, подрібненого вапняку на вихід годного агломерату можна зробити висновок, що вихід годного залежить від вмісту активованого вапняку, а саме, при добавці подрібненого вапняку після обпалу вихід годного був на рівні 71,7 %. Додаючи неактивованій вапняк у шихту, зафіксовано зменшення виходу годного – 66,1 %. Що стосується показників якості агломерату, то максимальний показник індексу на удар, по виходу фракції +5 мм після іспитів спостерігається в серії спікань з добавкою подрібненого вапняку у шихту він становить 92 %. Якщо го-

ворити про питому продуктивність агломераційної установки, то її підвищення спостерігається при додавання активованого вапняку у аглошихту.

З перебраних в лабораторних умовах варіантів найбільш доцільним виявляється варіант спікання, за яким ми подрібнювали вапняк обпалений, отриманий за оригінальною методикою. При цьому спостерігається збільшення продуктивності, виходу годного агломерату та міцності у порівнянні з базовим спіканням, коли вапняк використовувався без обпалу та без подрібнення. Дані лабораторних досліджень ще раз підтверджують ефективність та актуальність технології механічної активації матеріалів перед їх використанням в агломераційній шихті.

Перелік літератури

1. *Свириденко Ж.В.* Теоретические основы управления качеством металлургического сырья. – Днепропетровск: НМетАУ, 2009. – 148 с.
2. *Авакумов Е.Г.* Механические методы активации химических процессов. – Новосибирск: Наука СО, 1986. – 268 с.
3. *Ходаков Г.С.* Тонкое измельчение строительных материалов. – М.: Из-во литературы по строительству, 1972. – 237 с.

ЛИТВО. МЕТАЛУРГІЯ. 2018

**Матеріали XIV МІЖНАРОДНОЇ
НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ
ЛИТВО 2018**

**Матеріали VII МІЖНАРОДНОЇ
НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ
МЕТАЛУРГІЯ 2018**

Редактори: Т.В. Берлізева, С.В. Гнилокурєнко, Стоянов А.М.

Випуск підготовлено до друку
Запорізькою торгово-промисловою палатою

Підп. до друку 27.04.18 г. Формат 60×84 1/16. Бумага офсетна.
Riso-друк. Гарнітура Таймс. Ум. друк. стор. 18,94
Тираж 300 екз. Зам № 128.

Видавництво ПП «АА тандем»
Адреса: 69009, м. Запоріжжя,
вул.. В. Лобановського б. 27 оф. 69,
тел.. (050) 590-96-21

Свідоцтво про внесення державного реєстру видавців:
Серія ДК № 2899

Надруковано в тіпографії ТОВ «ФІНВЕЙ»
УкраїнаЮ, 69035, м. Запоріжжя, пр.. Соборний, буд. 145
тел.. (061) 220-03-06, 220-03-07

xprint_2007@ukr.net

Замовлення № 177/05.2007-А